



TUGAS AKHIR - RE091324

**PENGARUH PENAMBAHAN GLUKOSA SEBAGAI  
*CO-SUBSTRAT* DALAM PENGOLAHAN LIMBAH  
MINYAK SOLAR MENGGUNAKAN SISTEM *HIGH  
RATE ALGA REACTOR* (HRAR)**

LAKSMISARI RAKHMA PUTRI  
NRP. 3310 100 078

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES., Ph.D

Dosen Co-Pembimbing  
Ir. Agus Slamet, M.Sc

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - RE091324

**THE EFFECT OF GLUCOSE ADDITION AS CO-SUBSTRATE ON DIESEL OIL WASTEWATER TREATMENT USING HIGH RATE ALGA REACTOR (HRAR) SYSTEM**

**LAKSMISARI RAKHMA PUTRI**  
NRP. 3310 100 078

Supervisor  
Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES., Ph.D

Co-Supervisor  
Ir. Agus Slamet, M.Sc

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014

# LEMBAR PENGESAHAN

## PENGARUH PENAMBAHAN GLUKOSA SEBAGAI *CO-SUBSTRAT* DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH MINYAK SOLAR MENGGUNAKAN SISTEM *HIGH RATE ALGA REACTOR* (HRAR)

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

pada

Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

**LAKSMISARI RAKHMA PUTRI**  
**NRP. 3310 100 078**

Disetujui:

Pembimbing Tugas Akhir



**Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES., Ph.D**

**NIP. 19600618 198803 1 002**



# **PENGARUH PENAMBAHAN GLUKOSA SEBAGAI CO-SUBSTRAT DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH MINYAK SOLAR MENGGUNAKAN SISTEM *HIGH RATE ALGA REACTOR* (HRAR)**

Nama Mahasiswa : Laksmisari Rakhma Putri  
NRP : 3310 100 078  
Pembimbing : Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES, Ph.D  
Co-Pembimbing : Ir. Agus Slamet, M.Sc

## **ABSTRAK**

Kandungan minyak dalam air limbah umumnya relatif sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme pada pengolahan air limbah secara biologis. Sistem alga dalam *High Rate Alga Reactor* (HRAR) telah banyak dikembangkan dan digunakan sebagai pengolah air limbah domestik dan industri. Aplikasi sistem alga dalam HRAR ini dicoba untuk diaplikasikan dalam pengolahan air limbah minyak solar. Penelitian dilakukan untuk mengkaji kemampuan HRAR dalam menurunkan kandungan minyak solar dengan penambahan glukosa sebagai *co-substrate*. Penambahan *co-substrate* diperkirakan dapat mendorong bakteri untuk memberikan suplai karbondioksida pada mikroalga.

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan 8 reaktor dengan variabel penelitian konsentrasi minyak solar dalam air limbah dan konsentrasi gula yang ditambahkan. Variasi gula yang ditambahkan adalah 5 gram, 7 gram, dan 10 gram ke dalam 18 Liter air pada reaktor. Variasi konsentrasi minyak solar yang ditambahkan ditentukan dari penelitian pendahuluan. Pada penelitian pendahuluan dilakukan penambahan minyak solar ke dalam reaktor berupa 4 variasi konsentrasi dan 1 reaktor kontrol. Dari variasi konsentrasi minyak solar tersebut digunakan 2 konsentrasi yang dapat ditoleransi oleh alga untuk digunakan dalam penelitian, yaitu 381 ppm dan 830 ppm. Setiap dua hari sekali selama 14 hari akan diambil sampel untuk kemudian

dianalisis masing-masing parameternya. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah *oil & grease*, COD, klorofil a, DO, pH, temperatur, dan MLSS.

Hasil menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi kinerja HRAR dalam menurunkan konsentrasi minyak solar adalah sebesar 84,27%. Efisiensi tertinggi ini didapatkan pada reaktor dengan variasi konsentrasi minyak solar 830 ppm dan *co-substrate* sebesar 10 gram ke dalam 18 Liter yang memiliki nilai COD 586,67 mg/L. Pada konsentrasi minyak solar sebanyak 830 ppm, penambahan *co-substrate* memberikan pengaruh dalam efisiensi penurunan kandungan minyak solar. Semakin besar penambahan *co-substrate*, semakin besar efisiensi penurunan kandungan minyak solar.

***Kata kunci : alga, glukosa, HRAR, solar, substrat***

# **THE EFFECT OF GLUCOSE ADDITION AS CO-SUBSTRATE ON DIESEL OIL WASTEWATER TREATMENT USING HIGH RATE ALGAE REACTOR (HRAR) SYSTEM**

Student Name : Laksmisari Rakhma Putri  
ID Number : 3310 100 078  
Supervisor : Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES, Ph.D  
Co-Supervisor : Ir. Agus Slamet, M.Sc

## **ABSTRACT**

Oil content in wastewater are generally difficult to be degraded by microorganism using biological waste water treatment. High Rate Algae Reactor (HRAR) has been developed and widely used as domestic and industrial wastewater treatment. Algae in HRAR system is attempted to be applied in wastewater treatment containing diesel oil. The research was conducted to assess HRAR ability on removing diesel oil by the addition of glucose as co-substrate. Addition of co-substrate is estimated to stimulate bacteria to provide carbondioxide for microalgae.

This research was conducted using 8 reactors with concentration of diesel oil in wastewater and concentration of sugar added as variable. Variations of sugar added were 5 grams, 7 grams, and 10 grams into 18 Liters of water in the reactor. Variations of diesel oil concentration were noted from preliminary research. Preliminary research was conducted using 4 variations of diesel oil concentration and 1 control reactor. From the 4 types of concentration, only 2 were used which can be tolerated by algae to be used in this research. The concentration of diesel oil were 381 ppm and 830 ppm. Each parameter were analyzed once every two days for 14 days. The parameters analyzed in this research was oil & grease, COD, chlorophyll a, DO, pH, temperature, and MLSS.

The result showed the highest efficiency of diesel fuel removal was 84,27%. This highest efficiency was obtained from reactor with diesel oil concentration 830 ppm and 10 grams of sugar in 18 Liters water with COD concentration 586,67 mg/L. On diesel oil concentration 830 ppm, addition of co-substrate had given an effect. The more co-substrate added, the higher efficiency of diesel oil removal can be obtained.

***Keywords: algae, glucose, HRAR, diesel, substrate***

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas perlindungan, ilmu, bimbingan, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Pengaruh Penambahan Glukosa sebagai *Co-substrate* dalam Pengolahan Limbah Minyak Solar menggunakan Sistem *High Rate Alga Reactor* (HRAR)” dengan lancar. Tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran penulisan laporan tugas akhir ini, yakni:

1. Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES., Ph.D dan Ir. Agus Slamet, M.Sc selaku dosen pembimbing dan co-pembimbing tugas akhir yang telah memberikan kesediaan, kesabaran, dan ilmu selama proses bimbingan.
2. Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D, Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D, dan Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., Ph.D selaku dosen penguji, terima kasih atas masukan dan saran yang diberikan kepada penyusun.
3. Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D selaku dosen wali atas dukungan dan nasehat yang telah diberikan selama ini.
4. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D selaku Kepala Jurusan Teknik Lingkungan ITS yang telah membantu dan mendukung dalam perizinan serta pengajarannya selama ini.
5. Alfian Purnomo, ST., MT selaku Koordinator Tugas Akhir yang membantu memberi saran dan masukan.
6. Kedua orang tua penyusun, Ir. Hendro Subekti dan Ir. Endang Budiati atas segala dukungan moral, materi, dan doa yang tidak pernah putus.
7. Unggul Budi Prasajo, ST dan Yuni Dita Setyanti, ST sebagai saudara kandung sekaligus inspirasi bagi penyusun, terima kasih atas saran, semangat, perhatian, dan masukan yang diberikan.



8. Teman-teman tim alga, Ayu Syarifa Darwinastwantya, Dian Puspitasari, dan Wahyu Dian Septiani atas kerjasama, bantuan, dan kebersamaannya.
9. Teman-teman angkatan 2010 dan sahabat-sahabat penyusun yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas dukungan dan semangat yang telah disalurkan kepada penyusun.

Penyusun menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, oleh karena itu penyusun menerima kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga penulisan dapat lebih baik lagi. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2014

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Definisi Minyak Bumi .....	5
2.2 Karakteristik Solar.....	5
2.3 Minyak dan Lemak.....	6
2.4 Definisi Alga .....	7
2.5 Sistem <i>High Rate Alga Pond</i> (HRAP).....	9
2.6 Pemanfaatan Alga dalam Pengolahan Air Limbah.....	10
2.7 Penambahan Substrat dalam Sistem HRAP .....	11
2.8 Penelitian Terdahulu.....	11
<b>BAB 3 METODA PENELITIAN .....</b>	<b>13</b>
3.1 Kerangka Penelitian.....	13
3.2 Tahapan Penelitian .....	15
3.2.1 Ide Penelitian .....	15
3.2.2 Studi Literatur.....	15
3.2.3 Persiapan Alat dan Bahan.....	15
3.2.4 Seeding Alga.....	17
3.2.5 Penelitian Pendahuluan .....	18

3.2.6 Penelitian Utama.....	20
3.2.7 Proses Sampling.....	22
3.2.8 Metode Analisis .....	22
3.2.9 Analisis Data dan Pembahasan.....	23
3.2.10 Kesimpulan dan Saran.....	24
<b>BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>25</b>
4.1 Persiapan Alat dan Bahan.....	25
4.2 Proses <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi.....	25
4.2.1 Hasil Analisis COD.....	26
4.2.2 Hasil Analisis Total N.....	26
4.2.3 Hasil Analisis Orthophospat.....	26
4.2.4 Hasil Analisis Klorofil a.....	26
4.3 Penelitian Pendahuluan.....	27
4.3.1 Hasil Analisis Suhu.....	28
4.3.2 Hasil Analisis pH.....	29
4.3.3 Hasil Analisis MLSS.....	30
4.3.4 Hasil Analisis Klorofil a.....	32
4.4 Analisis C:N:P.....	34
4.4.1 Hasil Analisis COD.....	34
4.4.2 Hasil Analisis Total N.....	35
4.4.3 Hasil Analisis Orthophosphat .....	36
4.5 Penelitian Utama .....	37
4.5.1 Hasil Analisis Suhu.....	40
4.5.2 Hasil Analisis DO .....	42
4.5.3 Hasil Analisis MLSS.....	45
4.5.4 Hasil Analisis pH.....	47
4.5.5 Hasil Analisis Klorofil a.....	51
4.5.6 Hasil Analisis COD.....	55
4.5.7 Hasil Analisis <i>Oil &amp; Grease</i> .....	58
4.6 Analisis Korelasi Antar Parameter .....	61
4.6.1 Korelasi antara COD dengan MLSS .....	61
4.6.2 Korelasi antara Klorofil a dengan MLSS .....	64
4.6.3 Korelasi antara Klorofil a, MLSS, dan <i>Oil &amp; Grease</i> .....	66

4.7 Pengaruh Penambahan <i>Co-substrate</i> Terhadap Penurunan Kandungan Minyak Solar .....	67
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>69</b>
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran.....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>71</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>79</b>

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Minyak solar Pertamina .....	6
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu.....	12
Tabel 3.1 Variasi Konsentrasi Solar .....	18
Tabel 3.2 Variabel Penelitian .....	20
Tabel 4.1 Hasil Analisis COD .....	35
Tabel 4.2 Hasil Analisis Total N .....	35
Tabel 4.3 Hasil Analisis Orthoposphat .....	36
Tabel 4.4 Rasio C:N:P pada Reaktor .....	36
Tabel 4.5 Hasil Analisis dan Efisiensi <i>Oil &amp; Grease</i> .....	58

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Laju Pertumbuhan Alga pada Sistem <i>Batch</i> dan Konsentrasi Nutrien .....	8
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian .....	14
Gambar 3.2 Reaktor Penelitian.....	16
Gambar 3.3 Ilustrasi Proses Pembiakan Alga .....	18
Gambar 3.4 Ilustrasi Reaktor pada Penelitian Pendahuluan.....	19
Gambar 3.5 Ilustrasi Reaktor Penelitian Utama dengan Variasi Minyak Solar (MS) dan Glukosa (G) .....	21
Gambar 4.1 Grafik Analisis Suhu Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS) .....	28
Gambar 4.2 Grafik Analisis pH Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS) .....	30
Gambar 4.3 Grafik Analisis MLSS Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS) .....	31
Gambar 4.4 Hasil Analisis Klorofil a Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS) .....	32
Gambar 4.5 Foto Reaktor Penelitian Pendahuluan Hari ke-0.....	33
Gambar 4.6 Foto Reaktor Penelitian Pendahuluan Hari ke-8.....	33
Gambar 4.7 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-0 Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm dengan Variasi Penambahan Gula .....	38
Gambar 4.8 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-0 Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm dengan Variasi Penambahan Gula .....	39
Gambar 4.9 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-14 Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm dengan Variasi Penambahan Gula .....	39



Gambar 4.10 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-14 Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm dengan Variasi Penambahan Gula .....	39
Gambar 4.11 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-29 Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm dengan Variasi Penambahan Gula .....	40
Gambar 4.12 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-29 Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm dengan Variasi Penambahan Gula .....	40
Gambar 4.13 Grafik Analisis Suhu Penelitian Utama .....	41
Gambar 4.14 Grafik Analisis DO Pagi Konsentrasi minyak solar 381 ppm .....	43
Gambar 4.15 Grafik Analisis DO Sore Konsentrasi minyak solar 381 ppm .....	43
Gambar 4.16 Grafik Analisis DO Pagi Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm.....	44
Gambar 4.17Grafik Analisis DO Sore Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm.....	44
Gambar 4.18 Grafik Analisis MLSS Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm.....	46
Gambar 4.19 Grafik Analisis MLSS Konsetrasi Minyak Solar 830 ppm.....	46
Gambar 4.20 Grafik Analisis pH Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm:.....	49
Gambar 4.21 Grafik Analisis pH Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm:.....	50
Gambar 4.22 Grafik Analisis Klorofil a Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm:.....	52
Gambar 4.23 Grafik Analisis Klorofil a Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm:.....	54
Gambar 4.24 Grafik Analisis COD Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm:.....	56
Gambar 4.25 Grafik Analisis COD Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm:.....	57

Gambar 4.26 Grafik Efisiensi Penurunan Kandungan Minyak Solar .....	59
Gambar 4.27 Lapisan yang Terbentuk di Pinggiran Reaktor .....	61
Gambar 4.28 Grafik Korelasi COD dan MLSS Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm.....	62
Gambar 4.29 Grafik Korelasi COD dan MLSS Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm.....	63
Gambar 4.30 Grafik Korelasi Klorofil a dengan MLSS Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm.....	65
Gambar 4.31 Grafik Korelasi Klorofil a dengan MLSS Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm.....	66

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Salah satu industri yang berkembang dengan pesat adalah industri penghasil minyak bumi. Pesatnya perkembangan industri penghasil minyak bumi menunjukkan meningkatnya pemakaian minyak bumi dalam aktivitas hidup manusia. Beberapa dampak negatif yang dapat terjadi adalah timbulnya pencemaran lingkungan oleh minyak bumi. Kontaminan minyak bumi yang mencemari tanah dapat menguap, tersapu air hujan, atau masuk ke dalam tanah dan terendap sebagai zat beracun yang dapat mengganggu ekosistem dan siklus air (Aliyanta *et al.*, 2011). Di Indonesia, minyak bumi banyak diolah menjadi bahan bakar yang banyak jenisnya dan mudah didapatkan. Dibandingkan dengan berbagai bahan bakar minyak lainnya, minyak solar memiliki titik didih paling tinggi yaitu 370°C.

Minyak bumi seperti solar sebagai kontaminan yang dapat mencemari lingkungan perlu diolah. *High Rate Alga Pond* (HRAP) merupakan salah satu teknologi pengolahan air limbah yang dapat menurunkan kadar organik (Mesple *et al.*, 1995). Menurut Supradata (2005), masih banyak teknologi pengolahan air limbah (IPAL) yang berjalan kurang efektif karena mahalnya biaya operasional dan rumitnya sistem pengoperasian. Sistem HRAP sebagai salah satu teknologi sistem pengolah limbah secara biologis memerlukan biaya operasional yang kecil sehingga sistem ini dapat dijadikan sebagai alternatif tambahan dalam pengolahan air limbah. Sistem HRAP merupakan sistem yang dibuat untuk menjaga pertumbuhan alga. Sistem HRAP mempunyai kedalaman yang rendah yaitu antara 0,3 – 0,5 meter (Andersson *et al.*, 2011) dengan kedalaman tipikal sekitar 30 cm, karena pada kedalaman ini alga masih dapat terkena langsung cahaya matahari (Krishna *et al.*, 2012).

Dalam sistem HRAP perlu ditetapkan kondisi yang dapat mendukung pertumbuhan alga, seperti pH dan temperatur. Menurut Krishna *et al.*, (2012), pertumbuhan optimum alga terjadi pada suhu 28°C – 35°C dan pH 8. Lundquist *et al.*, (2010) merekomendasikan sistem HRAP sebagai salah satu solusi yang layak digunakan dalam mengolah air limbah dengan menggunakan budidaya alga yang dapat dilakukan dalam skala besar dengan biaya yang murah. *High Rate Algae Reactor* (HRAR) merupakan modifikasi dari HRAP dengan ukuran yang lebih kecil untuk digunakan dalam skala laboratorium.

Penggunaan alga dalam proses pengolahan air limbah memiliki beberapa keuntungan yaitu prinsip pengolahan menggunakan alga berjalan secara alami seperti prinsip ekosistem alam sehingga ramah lingkungan dan tidak menghasilkan limbah sekunder. Keuntungan lainnya adalah daur ulang nutrien yang berjalan dengan efisien dan dapat menghasilkan biomassa yang dapat dimanfaatkan (Santoso *et al.*, 2011). Alga juga mudah untuk dibudidayakan dan mudah beradaptasi (Rao *et al.*, 2011). Namun kelemahan dari penggunaan alga sebagai pengolah air limbah adalah prosesnya yang memakan waktu cukup lama serta memerlukan cahaya dalam prosesnya (Santoso *et al.*, 2011). Menurut Kong *et al.*, (2013), pertumbuhan alga lebih banyak dengan adanya matahari daripada tidak ada dan lebih banyak dengan adanya glukosa daripada asetat.

Pada penerapannya, dalam sistem HRAR ditambahkan substrat untuk meningkatkan jumlah biomassa. Jenis substrat yang ditambahkan dapat berupa karbon organik seperti glukosa (Perez-Garcia *et al.*, 2011). Berdasarkan hubungan simbiosis yang terjadi antara alga dengan bakteri, semakin banyak jumlah bakteri maka akan semakin banyak CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dan kemudian digunakan oleh alga untuk berfotosintesis. Sehingga dengan meningkatnya jumlah bakteri akan dapat juga meningkatkan jumlah produksi alga.

Pada penelitian ini akan dikaji lebih dalam tentang pengaruh penambahan glukosa sebagai *co-substrate* dalam

pengolahan air limbah yang mengandung minyak bumi yaitu solar menggunakan sistem HRAP yang dimodifikasi menjadi HRAR.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa rumusan masalah yang mendasari penelitian ini, yaitu:

1. Bisakah didapat efisiensi sistem HRAR untuk menyisihkan kandungan minyak solar di dalam air limbah?
2. Bagaimana pengaruh penambahan glukosa sebagai *co-substrate* terhadap kinerja HRAR dalam menyisihkan kandungan minyak solar pada air limbah?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang ada terdapat beberapa tujuan yang mendasari penelitian ini, yaitu:

1. Mengkaji efisiensi dari sistem HRAR untuk menyisihkan kandungan minyak solar dalam air limbah.
2. Mengkaji pengaruh penambahan glukosa sebagai *co-substrate* terhadap kinerja HRAR dalam menyisihkan kandungan minyak solar dalam air limbah.

## 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu:

1. Sampel air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah alga yang ditambahkan dengan minyak solar dengan volume yang beragam.
2. Alga yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari saluran drainase air limbah domestik kota Surabaya yang telah ada di jurusan Teknik Lingkungan ITS.
3. Parameter yang akan diuji dalam penelitian ini adalah *oil and grease*, klorofil a, DO, COD, pH, temperatur, dan MLSS.

4. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Maret – Juni 2014.
5. Variabel dari penelitian ini adalah:
  - a. Konsentrasi minyak solar
  - b. Konsentrasi *co-substrat*
6. Penelitian dilakukan di laboratorium Teknik Lingkungan ITS.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai kontribusi pada pengolahan air limbah mengandung minyak solar dengan menggunakan sistem HRAR.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi Minyak Bumi**

Minyak bumi merupakan salah satu komoditi terpenting di dunia. Pada era ini, permintaan pasar akan minyak bumi semakin meningkat. Hal ini menyebabkan banyak negara untuk terus mencari sumber minyak untuk dieksploitasi (Ekmekcioglu, 2012).

Minyak bumi terbentuk dari proses pelapukan jasad renik (mikroorganisme) yang terkubur di dalam tanah selama berjuta-juta tahun. Proses pembentukan minyak bumi yang lama ini menyebabkan minyak bumi tergolong sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Minyak bumi merupakan zat yang mudah terbakar yang terjadi sebagian besar karena hidrokarbon yang mencapai 50 – 98% dan sisanya terdiri atas senyawa organik seperti oksigen, nitrogen, atau belerang (Departemen Pendidikan Nasional, 2003).

#### **2.2 Karakteristik Solar**

Menurut Sugiyono (2006), pada tahun 1994 sampai dengan 2004 penggunaan minyak solar diperkirakan mencapai rata-rata lebih dari 40 dari total penggunaan BBM dalam negeri. Selain digunakan dalam sektor transportasi, minyak solar juga sering digunakan dalam sektor industri maupun sebagai pembangkit listrik.

Berdasarkan *material safety data sheet* minyak solar yang dikeluarkan oleh Pertamina (2007) dapat diketahui data fisik dan kimiawi dari bahan bakar minyak solar. Daftar beberapa data fisik dari minyak solar disajikan dalam Tabel 2.1.



**Tabel 2.1 Karakteristik Minyak solar Pertamina**

No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1	Angka Setana	-	48	-
2	Berat jenis pada 15°C	kg/m <sup>3</sup>	815	870
3	Viskositas (pada suhu 40°C)	mm <sup>2</sup> /sec	2,0	5,0
4	Kandungan sulfur	%m/m	-	0,35
5	Titik nyala	°C	60	-
6	Residu karbon	%m/m	-	0,1
7	Kandungan air	Mg/kg	-	500
8	Kandungan abu	% v/v	-	0,01

Sumber: Pertamina, 2007.

### 2.3 Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan bahan organik yang sulit untuk diuraikan oleh bakteri. Keberadaan minyak dan lemak dapat menimbulkan selaput pada permukaan air. Berat jenis minyak dan lemak lebih kecil daripada berat jenis air sehingga dapat membentuk lapisan tipis di permukaan air. Lapisan minyak dan lemak pada permukaan air dapat mengakibatkan terbatasnya oksigen yang dapat masuk ke dalam air (Farid, 2011).

Lemak dan minyak merupakan kelompok yang termasuk pada golongan lipid, yang merupakan senyawa organik yang terdapat di alam namun tidak larut dalam air. Golongan lipid dapat larut dalam pelarut organik nonpolar seperti dietil eter, kloroform, dan benzena. Minyak dan lemak dapat larut jika memiliki polaritas yang sama dengan pelarut tersebut (Herlina, 2002).

Kelarutan minyak dan lemak tergantung dari polaritasnya. Asam lemak yang bersifat polar cenderung larut dalam pelarut polar sementara asam lemak nonpolar juga dapat larut dalam pelarut nonpolar. Makin panjang rantai karbon, kelarutan minyak dan lemak semakin rendah (Setyawardhani, 2007).

## 2.4 Definisi Alga

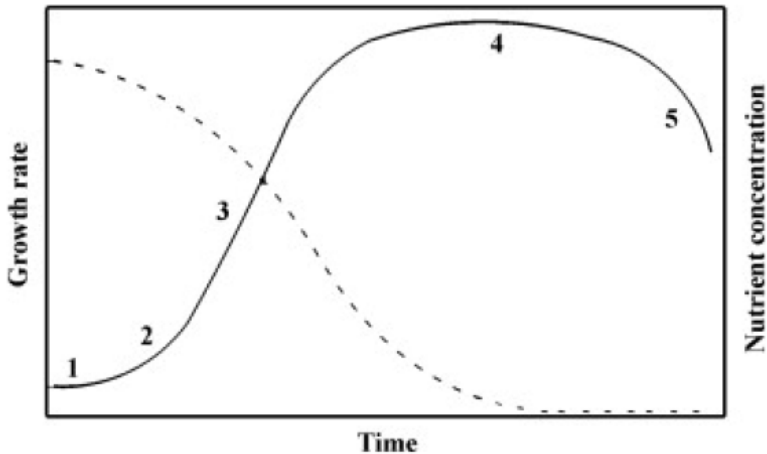
Menurut Pelczar dan Chan (1986), alga merupakan tumbuhan sederhana yang tidak memiliki akar, batang, dan daun. Sebagai tumbuhan, alga memiliki klorofil dan dapat berfotosintesis. Alga merupakan organisme sederhana yang berbeda dari tumbuhan pada umumnya. Ukuran alga beragam, mulai dari jenis fitoplankton yang berukuran  $0,2 - 2 \mu\text{m}$  hingga yang berbentuk daun dengan lebar yang dapat mencapai 60 m. Pada umumnya habitat alga adalah air dan sebagian besar terklasifikasi dalam mikroalga (Barsanti & Gualtieri, 2006). Mikroalga terklasifikasi menjadi alga hijau, alga hijau-biru, diatom, dan alga emas (Demirbas & Fatih Demirbas, 2011).

Alga memiliki banyak habitat, mulai dari perairan baik air tawar maupun air laut, hingga daratan yang basah atau lembab. Alga yang hidup di air ada yang bergerak aktif dan ada yang tidak (Tjitrosupromo, 2003). Alga merupakan tumbuhan mikroskopis bersel satu (Demirbas, 2010).

Pertumbuhan alga mengikuti kurva pertumbuhan alga yang dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pada kurva tersebut juga dapat diketahui jika jumlah alga meningkat, maka ketersediaan nutrisi akan menurun. Pada kurva ditunjukkan beberapa fase pertumbuhan alga, yaitu (1) fase adaptasi, (2) fase eksponensial, (3) fase pertumbuhan linear, (4) fase stasioner, dan (5) fase kematian (Mata *et al.*, 2010).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan alga dan kemampuannya melakukan fotosintesis. Proses fotosintesis memerlukan  $\text{CO}_2$ , air, dan cahaya matahari. Sebagai tambahan, nutrisi anorganik seperti nitrogen dan fosfor juga diperlukan bagi pertumbuhan alga. Kondisi yang baik untuk pertumbuhan alga dibutuhkan temperatur air antara  $20^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}$ , yang juga tergantung pada jenis alga (Pokoo-Aikins *et al.*, 2010). Beberapa studi menyatakan bahwa alga masih dapat bertahan pada suhu  $15^\circ\text{C}$  namun dengan pertumbuhan yang lambat. Pada

temperatur 2 – 4°C alga dapat mengalami kematian (Mata *et al.*, 2010).



**Gambar 2.1 Laju Pertumbuhan Alga pada Sistem *Batch* dan Konsentrasi Nutrien**

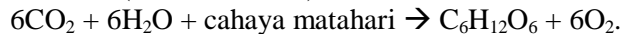
Kebutuhan alga akan  $\text{CO}_2$  beragam tergantung dari beberapa kondisi. Sekitar 50% biomassa alga terdiri dari karbon, dimana sumber utama karbon adalah  $\text{CO}_2$ . Secara stoikiometri, kebutuhan alga akan  $\text{CO}_2$  bervariasi antara 1,65 – 2  $\text{CO}_2/\text{kg}$  biomassa (Posten & Schaub, 2009).

Alga memerlukan nutrisi untuk membentuk biomassa. Nitrogen dan phosphor merupakan 2 substansi penting yang diperlukan dalam proses ini. Untuk menyediakan nutrisi bagi alga, dapat dilakukan dengan menambahkan nutrisi atau dengan menumbuhkan alga pada media yang telah mengandung jumlah nutrisi yang dibutuhkan (Posten & Schaub, 2009). Selain dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi, pertumbuhan alga juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti cahaya, pH, dan temperatur (Mulyanto, 2010).

Selain sinar matahari dan karbondioksida, alga juga memerlukan beberapa nutrisi tambahan seperti nutrisi untuk

menunjang pertumbuhannya agar cepat dan optimal. (Graham, 2000). Selain itu, alga memerlukan asupan nutrisi berupa nitrogen dan fosfat untuk dapat berkembang secara efektif. Alga dapat berkembang dengan pesat jika nutrisi tersebut tersedia dengan cukup (Reynolds dan Richards, 1996).

Sinar matahari diperlukan oleh alga sebagai sumber energi untuk melakukan fotosintesis. Baik kualitas maupun kuantitas (panjang gelombang) cahaya dapat mempengaruhi pertumbuhan alga. Intensitas cahaya berkurang secara eksponensial sesuai dengan kedalaman air. Proses fotosintesis yang terjadi juga meningkat secara linear sesuai dengan intensitas cahaya (Darley, 1982). Mikroalga memiliki kapasitas konversi energi cahaya matahari maksimal sebesar 4,5% yang artinya dari energi cahaya yang sampai pada alga hanya sebesar 4,5% yang dapat diubah ke dalam biomassa (Walker, 2009). Saat melakukan fotosintesis, alga menghasilkan oksigen. Reaksi fotosintesis pada alga sebagai berikut (Ho *et al.*, 2011):



Terdapat beberapa alternatif untuk membiakkan alga. Alga dapat tumbuh pada sistem tertutup atau terbuka. Dalam proses pembiakan alga, sistem biakan yang akan digunakan merupakan hal penting. Reaktor harus didesain agar alga masih dapat menerima sinar matahari untuk melakukan fotosintesis (Ho *et al.*, 2011).

Terdapat 3 desain utama dari sistem biakan terbuka, yaitu *raceway pond*, *circular pond*, dan *inclined system*. Desain yang paling sering digunakan adalah *raceway pond*, yang biasanya dioperasikan dengan mengalirkan air dan nutrisi secara kontinyu (Schenk *et al.*, 2008).

## **2.5 Sistem High Rate Alga Pond (HRAP)**

Sistem HRAP digunakan dalam mengolah air limbah, sekaligus membudidayakan alga. Sistem ini pertama kali ditemukan oleh William James Oswald pada tahun 1968 di

University of California, Berkeley. Sejak saat itu sistem ini mulai diaplikasikan di banyak negara seperti Amerika Serikat, Afrika Selatan, Prancis, Belanda, dan lain-lain untuk meremoval nitrogen dan phosphor pada air limbah (Cilliers, 2012).

Sistem *High Rate Alga Pond* (HRAP) didesain untuk menunjang pertumbuhan alga. Dengan kedalaman yang rendah yaitu antara 0,3 – 0,5 m, alga yang ada di dalam HRAP dapat tetap mendapatkan sinar matahari untuk proses fotosintesisnya (Andersson *et al.*, 2011).

HRAP merupakan salah satu pengolah yang efektif dalam mengolah limbah cair. Pengolahan air limbah dengan menggunakan alga dapat menghilangkan nitrogen dan phosphor, namun tidak untuk *suspended solid*. Karena itu dalam suatu instalasi pengolahan air limbah, selain HRAP juga diperlukan pengolahan lain (Andersson *et al.*, 2011).

Menurut Cilliers (2012), HRAP dapat menurunkan kadar COD, nitrogen, dan phosphor yang ada pada air limbah. Selain itu, sistem HRAP berpotensi untuk mereduksi nutrisi dan menghasilkan biofuel. HRAP juga tidak memerlukan banyak biaya dalam proses konstruksi maupun operasinya. Selain itu sistem ini tidak memerlukan banyak tenaga kerja untuk pengoperasiannya.

## **2.6 Pemanfaatan Alga dalam Pengolahan Air Limbah**

Pemanfaatan alga untuk mengolah air limbah telah banyak diaplikasikan. Telah banyak pula dilakukan penelitian untuk mencari pemanfaatan alga dalam mengolah nutrisi, terutama nitrogen dan phosphor. Pengolahan air limbah oleh alga jika dimanfaatkan setelah dilakukan proses *activated sludge* tidak akan memberikan hasil yang maksimal karena pada tahap ini air limbah tidak lagi mengandung banyak phosphor (Andersson *et al.*, 2011).

Dibandingkan dengan proses pengolahan air limbah secara konvensional seperti *activated sludge*, alga dapat

mengasimilasi polutan organik menjadi unsur pokok pembentuk sel seperti lipid dan karbohidrat sehingga alga dapat mereduksi polutan dengan ramah lingkungan (Wang *et al.*, 2009).

## **2.7 Penambahan Substrat dalam Sistem HRAP**

Pada operasional beberapa kolam budidaya alga, dilakukan penambahan karbon organik seperti glukosa maupun asetat dengan jumlah yang sedikit. Penambahan ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah biomassa dan mencegah pertumbuhan bakteri yang terlalu tinggi. Pertumbuhan bakteri akan menjadi terlalu tinggi jika substrat organik tersebut ditambahkan dengan jumlah yang terlalu banyak (Perez-Garcia *et al.*, 2011).

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Devianto dan Kardena (2010), dengan menggunakan bakteri *Azotobacter vinelandii* didapatkan bahwa dengan konsentrasi glukosa sebesar 0,655% didapatkan laju pertumbuhan maksimum. Jika konsentrasi glukosa kurang dari 0,655% maka laju maksimum pertumbuhan *Azotobacter vinelandii* tidak dapat tercapai.

Pada kurva pertumbuhan bakteri, kecepatan pertumbuhan tergantung dari kadar substrat. Menurutnya kecepatan pertumbuhan sudah terjadi ketika kadar substrat berkurang sebelum habis terpakai (Srimariana, 2000).

## **2.8 Penelitian Terdahulu**

Penelitian dengan menggunakan sistem HRAR telah banyak dilakukan. Beberapa penelitian menganalisis tentang pengaruh penambahan substrat terhadap sistem HRAR. Selain itu telah juga dilakukan penelitian untuk menentukan tingkat remediasi minyak. Beberapa rangkuman penelitian terdahulu yang telah dilakukan dan berkaitan dengan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu**

No	Judul	Nama	Variabel	Hasil
1	Efek Aerasi dan Konsentrasi Substrat pada Laju Pertumbuhan Alga Menggunakan Sistem Bioreaktor Proses <i>Batch</i>	Afifah (2013)	Aerasi	Konsentrasi klorofil a paling optimum didapatkan dengan penambahan konsentrasi substrat sebesar 50 mg/L
			Konsentrasi substrat (gula)	
2	Pengaruh Konsentrasi Substrat dan Konsentrasi Bakteri pada Produksi Alga dalam Sistem Bioreaktor Proses <i>Batch</i>	Utami (2013)	Konsentrasi substrat (gula)	Penambahan konsentrasi substrat yang ideal sebesar 100 mg/L dengan konsentrasi bakteri 150 mg/L
			Konsentrasi bakteri	
3	Penerapan Metode Fitoremediasi dengan Menggunakan Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) pada Air yang Tercemar Minyak Pelumas Bekas Kendaraan	Anggraeni (2007)	Konsentrasi minyak pelumas	Konsentrasi minyak pelumas sebesar 600 mg/L dapat diremediasi oleh tanaman kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> )
			Perlakuan pada tanaman air	
			Kekentalan minyak pelumas	

## **BAB 3**

### **METODA PENELITIAN**

#### **3.1 Kerangka Penelitian**

Pada penelitian ini akan dicari pengaruh penambahan gula terhadap sistem HRAR dalam mengolah minyak solar dalam air limbah. Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap, yaitu penelitian pendahuluan serta penelitian utama running I dan II.

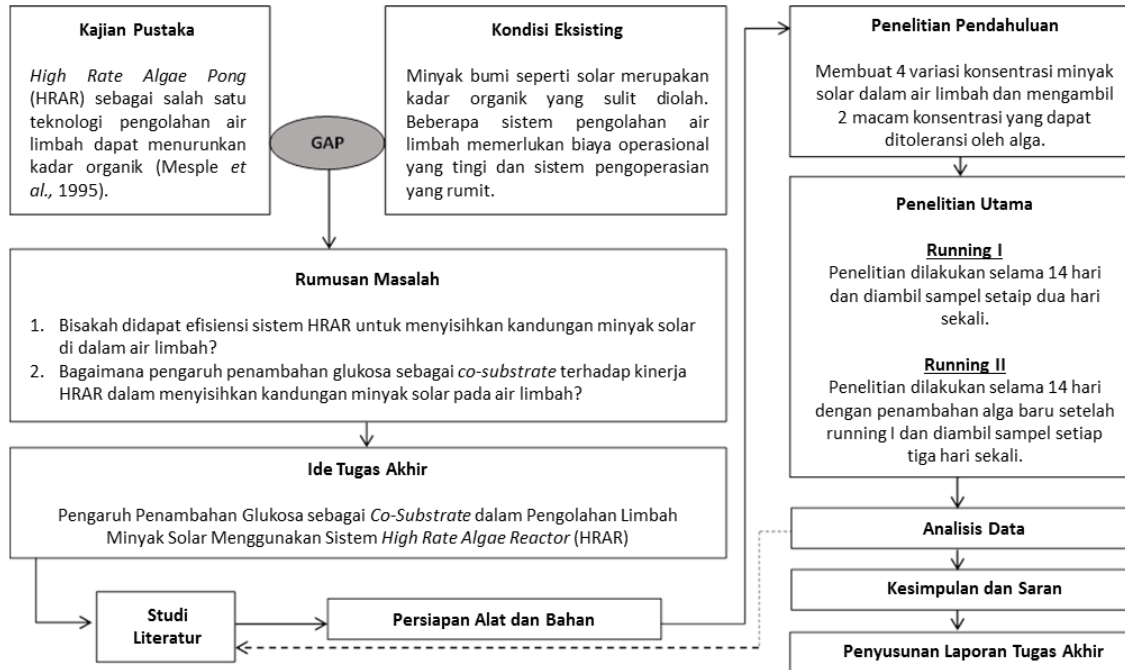
Pada penelitian pendahuluan dibuat empat macam variasi konsentrasi minyak solar yang ditambahkan ke dalam reaktor serta satu reaktor kontrol tanpa penambahan minyak solar. Hasil dari penelitian pendahuluan tersebut adalah dua macam variasi konsentrasi minyak solar yang dapat ditoleransi oleh alga yang digunakan pada penelitian utama. Pada penelitian ini dianalisis parameter klorofil a dan MLSS.

Pada penelitian utama ditentukan dua variabel yaitu konsentrasi minyak solar dan konsentrasi gula. Konsentrasi minyak solar divariasi sebanyak dua macam yang didapatkan dari hasil penelitian pendahuluan. Konsentrasi gula yang ditambahkan sebanyak tiga variasi. Pada penelitian utama dibutuhkan delapan buah reaktor untuk masing-masing variabel, termasuk dua reaktor untuk kontrol masing-masing konsentrasi minyak solar tanpa penambahan gula.

Parameter yang akan dianalisis dalam penelitian utama adalah *oil and grease* pada awal dan akhir, DO pada pagi dan sore hari, klorofil a, COD, pH, temperatur, dan MLSS. Analisis dilakukan setiap dua hari sekali.

Metoda penelitian sebagai dasar pengembangan ide yang telah ada diperlukan agar penelitian yang dilakukan berjalan secara sistematis dan dapat terkontrol. Metoda penelitian berbentuk kerangka penelitian sebagai gambaran dari metoda penelitian. Sistematika kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.





**Gambar 3.1 Kerangka Penelitian**

## **3.2 Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian berisi detail masing-masing tahapan dalam kerangka penelitian. Berikut ini merupakan penjelasan detail masing-masing tahapan penelitian.

### **3.2.1 Ide Penelitian**

Ide penelitian ini muncul karena tingginya tingkat pencemaran air oleh minyak solar. Untuk menghindari pencemaran lingkungan, perlu dilakukan pengolahan air limbah untuk menghilangkan beban pencemar, dalam penelitian ini digunakan sistem HRAP. Selain itu, sistem HRAP memerlukan biaya yang tidak mahal dan mudah pengoperasiannya karena memanfaatkan alga untuk melakukan pengolahan yang alami. Dalam penelitian ini dilakukan penambahan gula untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sistem HRAR tersebut dalam mengolah minyak solar pada air limbah.

### **3.2.2 Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan untuk menambah pengetahuan yang berhubungan dengan ide penelitian. Literatur yang digunakan berasal dari jurnal internasional, jurnal ilmiah Indonesia, buku teks, tugas akhir, thesis, disertasi, peraturan pemerintah, dan lain-lain.

### **3.2.3 Persiapan Alat dan Bahan**

Pada penelitian ini perlu dilakukan persiapan alat dan bahan yang nantinya akan digunakan selama penelitian. Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Reaktor.

Disiapkan 8 buah reaktor, masing-masing reaktor berbentuk tabung tanpa tutup (seperti toples) dengan bahan plastik. Reaktor memiliki kapasitas 24 Liter dengan diameter atas 39

cm, diameter bawah 32 cm, dan tinggi 31 cm. Pada reaktor diatur kedalaman air setinggi 25 cm dan volumenya sebesar 18 L. Pada bagian samping reaktor dipasang 1 buah keran  $\frac{1}{2}$  inchi. Gambar reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Reaktor Penelitian**

2. Pengaduk.  
 Dalam penelitian ini dilakukan proses *mixing* untuk menghomogenkan sistem HRAR tersebut. Dalam proses *mixing* ini digunakan pengaduk otomatis berupa satu buah pompa *submersible* yang diletakkan di dalam masing-masing reaktor dan menyala selama 24 jam.
3. Termometer untuk analisis temperatur.
4. pH meter untuk analisis pH.
5. Peralatan laboratorium untuk analisis *oil & grease*, klorofil a, DO, COD, dan MLSS.

Bahan-bahan yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. Minyak solar.  
 Dalam penelitian ini digunakan minyak bumi yang telah diolah menjadi bahan bakar minyak solar yang dibeli di

stasiun pengisian bahan bakar umum Pertamina. Minyak solar dipilih untuk digunakan pada penelitian karena sebagai bahan bakar kendaraan, minyak solar ini mudah didapatkan. Selain itu minyak solar aman digunakan dalam penelitian karena memiliki titik didih yang tinggi dibandingkan bahan bakar lain sehingga tidak mudah terbakar. Dalam penelitian ini digunakan 2 macam konsentrasi minyak solar hasil penelitian pendahuluan yang akan dimasukkan ke dalam sistem HRAR.

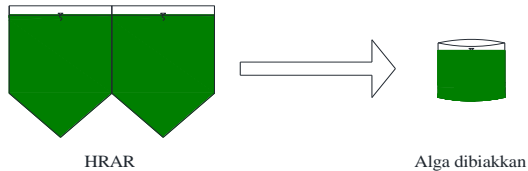
2. Gula.  
Dalam penelitian ini ditambahkan glukosa dalam bentuk gula pasir dengan konsentrasi yang berbeda untuk masing-masing reaktor.
3. Alga.  
Alga yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari saluran drainase air limbah domestik kota Surabaya yang telah ada di jurusan Teknik Lingkungan ITS.
4. Reagen yang diperlukan untuk analisis *oil & grease*, klorofil a, DO, COD, dan MLSS.

### 3.2.4 Seeding Alga

*Seeding* dilakukan untuk menumbuhkan alga. Proses *seeding* dilakukan dengan mengambil alga yang telah dikembangkan menggunakan limbah domestik kota Surabaya dan dibiakkan dalam reaktor. Alga yang telah diambil kemudian ditambahkan dengan air keran hingga volume mencapai 16 L. Dalam proses *seeding* ini dijaga agar alga tetap hidup. Rasio C:N:P dalam sistem HRAR dijaga sebesar 100:16:1 (Redfield *et al.*, 1963). Rasio ini dijaga dengan menambahkan gula dan pupuk urea sebagai sumber C, N, dan P. Ilustrasi gambar proses pembiakan alga dapat dilihat pada Gambar 3.3.

Alga hasil *seeding* ini kemudian akan digunakan dalam penelitian pendahuluan. Sebelum digunakan dalam penelitian pendahuluan dilakukan analisis kadar COD, total N, dan

orthophosphat untuk merepresentasikan rasio C:N:P serta analisis klorofil a.



**Gambar 3.3 Ilustrasi Proses Pembiakan Alga**

### 3.2.5 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan variasi konsentrasi minyak solar yang akan digunakan dalam penelitian utama. Pada penelitian pendahuluan ini dibutuhkan 5 reaktor termasuk reaktor kontrol. Pada penelitian pendahuluan ini akan dilakukan penambahan minyak solar dengan 5 variasi ke dalam masing-masing reaktor yang berisi alga hasil *seeding* dengan volume yang sama. Variasi konsentrasi minyak solar yang ditambahkan adalah 381 ppm; 830 ppm; 1280 ppm; dan 1730 ppm serta 1 buah reaktor tanpa penambahan minyak solar.

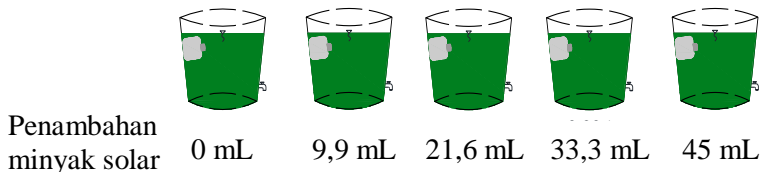
Pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 2007, standar baku mutu air limbah bagi kegiatan eksplorasi dan produksi migas di lepas pantai, nilai maksimal kandungan minyak dan lemak adalah sebesar 25 ppm. Penambahan volume minyak solar sesuai dengan konsentrasinya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Variasi Konsentrasi Solar**

Penambahan Minyak Solar (mL)	Konsentrasi (ppm)
0	0
9,9	381
21,6	830

Penambahan Minyak Solar (mL)	Konsentrasi (ppm)
33,3	1280
45	1730

Gambar ilustrasi reaktor untuk penelitian pendahuluan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4 Ilustrasi Reaktor pada Penelitian Pendahuluan**

Parameter yang dianalisis pada penelitian pendahuluan ini adalah klorofil a dan MLSS sebagai indikator jumlah alga dalam reaktor. Analisis dilakukan setiap dua hari sekali dan diambil sampel pada pukul 08.00.

Penelitian pendahuluan ini direncanakan akan dilakukan selama 14 hari dan akan diambil sampel untuk analisis setiap dua hari sekali. Namun pada pelaksanaannya, penelitian pendahuluan dilakukan selama 8 hari karena nilai klorofil a pada keseluruhan reaktor menurun drastis hampir mendekati nol pada hari ke-4 sampai hari ke-8.

Hasil dari penelitian pendahuluan ini adalah dua macam konsentrasi minyak solar yang dapat ditoleransi oleh alga yang kemudian akan digunakan pada penelitian utama. Hasil konsentrasi minyak solar yang dapat ditoleransi oleh alga adalah pada konsentrasi minyak solar sebanyak 381 ppm dan 830 ppm dilihat dari penurunan nilai klorofil a yang paling kecil dibandingkan dengan reaktor dengan konsentrasi lain.

### 3.2.6 Penelitian Utama

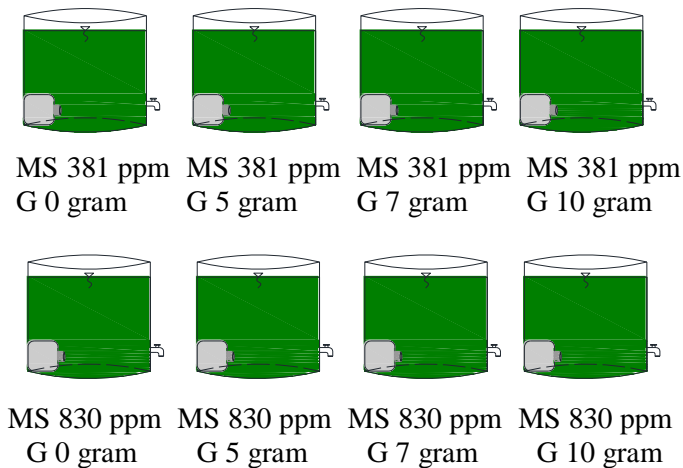
Penelitian utama ini dilaksanakan sebanyak dua kali running. Pada pelaksanaan penelitian utama ini ditentukan variabel yang akan digunakan yaitu jumlah minyak solar yang ditambahkan dan jumlah gula yang ditambahkan. Konsentrasi minyak solar yang digunakan didapatkan dari hasil penelitian pendahuluan yaitu konsentrasi minyak solar sebanyak 381 ppm dan 830 ppm, sedangkan jumlah gula yang ditambahkan bervariasi sebesar 5 gram, 7 gram, dan 10 gram. Variasi pada kedua variabel penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Variabel Penelitian**

<b>Konsentrasi Gula</b> <b>Konsentrasi Minyak Solar</b>	0 gram (1)	5 gram (2)	7 gram (3)	10 gram (4)
381 ppm (MA)	MA1	MA2	MA3	MA4
830 ppm (MB)	MB1	MB2	MB3	MB4

Parameter yang akan dianalisis dalam running I adalah *oil & grease*, klorofil a, DO, COD, pH, temperatur, dan MLSS. Parameter klorofil a, COD, pH, dan temperatur dianalisis setiap dua hari sekali dan diambil sampel pada pukul 08.00. Parameter DO dilakukan selama dua hari sekali sebanyak dua kali dalam satu hari yaitu pada pukul 06.00 dan pukul 15.00. Analisis DO dilakukan pada pukul 06.00 karena dianggap mewakili aktivitas sistem alga selama malam hari di saat tidak ada cahaya matahari, sedangkan analisis pada pukul 15.00 merepresentasikan aktivitas sistem alga pada siang hari saat ada cahaya matahari dan terjadi proses fotosintesis. Parameter *oil & grease* dianalisis sebanyak dua kali pada awal dan akhir penelitian utama, yaitu pada hari ke-0 dan ke-14.

Dalam penelitian utama ini dibutuhkan 8 reaktor termasuk reaktor kontrol yang hanya berisi masing-masing konsentrasi minyak solar tanpa adanya penambahan gula. Alga yang digunakan merupakan alga yang ada pada reaktor dari penelitian pendahuluan karena dianggap telah beradaptasi dengan pencemar minyak solar, dan ditambahkan dengan biakan alga baru serta aquades. Dalam penelitian ini digunakan pencahayaan alami sinar matahari dan dilakukan pengadukan menggunakan pompa *submersible* selama 24 jam. Gambar ilustrasi reaktor untuk penelitian utama dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5 Ilustrasi Reaktor Penelitian Utama dengan Variasi Minyak Solar (MS) dan Glukosa (G)**

Penelitian running II dilakukan dengan menambahkan biakan alga baru sebanyak 2 Liter pada semua reaktor pada hari ke-14 running I. Running II ini dilakukan karena nilai klorofil a pada saat running I menurun sehingga penelitian lanjutan ini bertujuan untuk melihat *recovery* sistem alga apabila ditambahkan dengan biakan alga baru yang belum tercemar.



Pada running II ini dilakukan analisis pH, klorofil a, dan COD. Analisis dilakukan setiap 3 hari sekali yaitu pada hari ke-17, ke-20, ke-23, ke-26, dan ke-29 pada pukul 08.00.

### 3.2.7 Proses Sampling

*Sampling* dilakukan dengan mengambil contoh air dalam masing-masing reaktor untuk diuji sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan. *Sampling* pada running I dilakukan setiap dua hari sekali pada pukul 08.00 selama 14 hari. Pada running II *sampling* dilakukan selama 14 hari setiap tiga hari sekali. Untuk parameter DO dilakukan pengambilan sampel pada pukul 06.00 dan 15.00. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan botol kaca.

### 3.2.8 Metode Analisis

Sampel yang telah diambil tersebut kemudian dianalisis sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan pada penelitian utama yaitu *oil & grease*, klorofil a, DO, COD, pH, temperatur, dan MLSS. Parameter *oil & grease* dianalisis pada awal dan akhir penelitian. Parameter DO diukur dua kali dalam satu hari yaitu pada pukul 06.00 dan 15.00 dan dianalisis setiap dua hari sekali. Parameter klorofil a, COD, pH, temperatur, dan MLSS dianalisis selama dua hari sekali selama 14 hari.

1. Analisis *oil & grease*.  
Analisis *oil & grease* dilakukan dengan menggunakan metode 5520 D *Soxhlet Extraction Method* (APHA, 1995). Analisis dilakukan di Laboratorium Pemulihan Kualitas Air, Teknik Lingkungan, ITS.
2. Analisis klorofil a.  
Analisis konsentrasi klorofil a dilakukan dengan menggunakan metode 10200 H *Spectrophotometric Determination of Chlorophyll* (APHA, 2005). Analisis parameter klorofil a dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3, Teknik Lingkungan, ITS.

3. Analisis Dissolved Oxygen (DO).  
Analisis *Dissolved Oxygen* (DO) dilakukan dengan menggunakan *azide modification method* (APHA, 1999). Analisis parameter *dissolved oxygen* dilakukan di Laboratorium Pemulihan Kualitas Air, Teknik Lingkungan, ITS.
4. Analisis Chemical Oxygen Demand (COD).  
Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD) dilakukan dengan menggunakan metode *5220 C Closed Reflux, Titrimetric Methods* (APHA, 1999). Analisis parameter COD dilakukan di Laboratorium Pemulihan Kualitas Air, Teknik Lingkungan, ITS.
5. Analisis pH.  
Analisis pH pada sampel dilakukan dengan menggunakan alat pH meter. Analisis parameter pH dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3, Teknik Lingkungan, ITS.
6. Analisis Temperatur.  
Analisis temperatur dilakukan dengan menggunakan alat termometer. Analisis temperatur dilakukan langsung pada reaktor di rumah kaca, Teknik Lingkungan, ITS.
7. Analisis MLSS.  
Analisis MLSS dilakukan dengan menggunakan metode *2540B Total Solids Dried at 103 - 105°C* (APHA, 1998). Analisis parameter MLSS dilakukan di Laboratorium Pemulihan Kualitas Air, Teknik Lingkungan, ITS.

### 3.2.9 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dilakukan terhadap hasil analisis dari setiap parameter setiap dua hari. Perlu juga dilakukan analisis keterkaitan parameter yang satu dengan yang lain. Pada analisis data dilakukan pembahasan mengenai kemampuan HRAR dalam menurunkan kandungan minyak solar dalam air limbah serta pengaruh penambahan gula. Analisis data dilakukan setelah

penelitian selesai dan semua data primer telah terkumpul. Pada akhir penelitian akan didapatkan data masing-masing parameter berhubungan dengan fungsi waktu.

Dari data analisis parameter *oil & grease* di awal dan di akhir penelitian akan didapatkan efisiensi penurunan kandungan *oil & grease* dalam sistem HRAR. Efisiensi penurunan kandungan *oil & grease* dapat dihitung sebagai berikut:

$$E = \frac{(A - B)}{A} \times 100\%$$

dimana:

E = efisiensi

A = konsentrasi *oil & grease* pada hari ke-0

B = konsentrat *oil & grease* pada hari ke-14

### 3.2.10 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran didapatkan dari hasil pembahasan yang telah dilakukan. Kesimpulan yang didapat hendaknya dapat menjawab tujuan yang ingin dicapai, sedangkan saran merupakan masukan yang didasarkan pada kesimpulan.

## **BAB 4**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Persiapan Alat dan Bahan**

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini merupakan *sealware* dengan kapasitas 24 Liter yang memiliki diameter bawah 32 cm, diameter atas 39 cm, dan tinggi 31 cm. Pada pinggir reaktor dipasang keran air  $\frac{1}{2}$  inchi. Reaktor pada penelitian ini tidak menggunakan tutup. Air limbah di dalam reaktor diatur ketinggiannya setinggi 25 cm, sesuai dengan ketentuan kedalaman sistem HRAR.

Pada penelitian ini juga digunakan pompa *submersible* sebagai pengaduk. Pompa sebagai pengaduk dalam reaktor dibiarkan menyala selama 24 jam. Pada penelitian ini digunakan sistem *batch*.

#### **4.2 Proses Seeding dan Aklimatisasi**

Pada penelitian ini, perlu disiapkan alga yang akan digunakan. Proses *seeding* dilakukan dengan mengambil alga yang telah dikembangkan dari saluran drainase berupa limbah domestik kota Surabaya, kemudian ditambahkan urea dan gula pasir sebagai sumber nutrisi dan karbon bagi alga. Proses ini berlangsung selama 7 hari. Alga yang dibutuhkan untuk lima reaktor kemudian dicampurkan dalam gentong sebanyak 40 L dan ditambah dengan air keran sebanyak 50 L sambil dilakukan proses pengadukan menggunakan pompa *submersible*. Setelah ditunggu beberapa jam, kemudian diambil sampel untuk dilakukan analisis COD, total N, orthophosphat, dan klorofil a.

Analisis COD, total N, dan orthophosphat dilakukan untuk mengetahui rasio C:N:P pada sistem alga. Parameter COD dianalisis untuk mewakili rasio C sedangkan parameter total N

dianggap mewakili rasio N, dan rasio P diukur dalam orthophosphat.

#### **4.2.1 Hasil Analisis COD**

Analisis COD dilakukan pada tanggal 4 April 2014. Nilai COD yang terukur dianggap mewakili rasio C. Analisis dilakukan dengan metode *Closed reflux, titimetric method*. Hasil analisis menyatakan nilai COD sebesar 220 mg/L.

#### **4.2.2 Hasil Analisis Total N**

Analisis nitrat dilakukan pada tanggal 4 April 2014. Nilai total N yang terukur dianggap mewakili rasio N. Analisis dilakukan dengan metode spektrofotometer. Hasil pembacaan absorbansi dengan spektrofotometer adalah sebesar 0,696 A. Hasil pembacaan spektro kemudian dimasukkan ke dalam persamaan kurva kalibrasi. Analisis menyatakan kandungan total N sebesar 38,198 mg/L.

#### **4.2.3 Hasil Analisis Orthophosphat**

Analisis orthophosphat dilakukan pada tanggal 4 April 2014. Nilai orthophosphat yang terukur dianggap mewakili rasio P. Hasil pembacaan dengan spektrofotometer adalah sebesar 0,294 A. Hasil pembacaan kemudian dimasukkan ke dalam persamaan kurva kalibrasi sehingga didapatkan konsentrasi sebesar 1,45 mg/L.

#### **4.2.4 Hasil Analisis Klorofil a**

Analisis klorofil a dilakukan pada tanggal 4 April 2014. Nilai klorofil a yang terukur merupakan jumlah biakan alga awal yang akan digunakan dalam penelitian pendahuluan. Analisis dilakukan dengan metode *Spectrophotometric determination of*

*chlorophyll a*. Hasil analisis menyatakan nilai klorofil a sebesar 26,18 mg/L.

### 4.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi minyak solar yang masih dapat ditoleransi oleh sistem alga. Pada penelitian ini digunakan 5 reaktor dengan variasi berupa konsentrasi minyak solar. Masing-masing variabel pada reaktor adalah sebagai berikut:

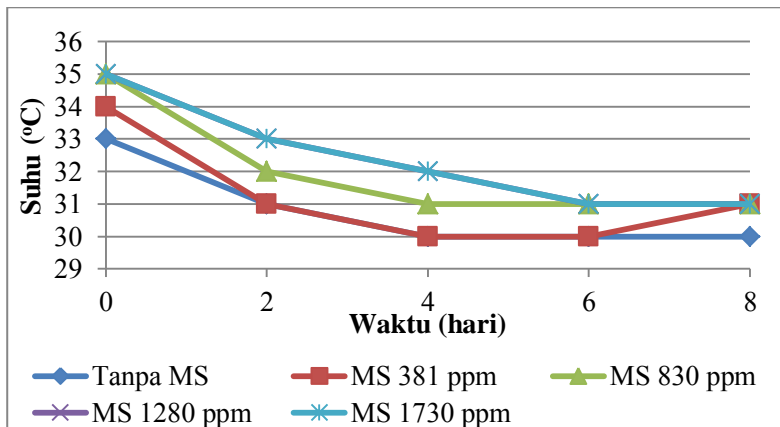
- Reaktor 1 : tanpa penambahan minyak solar.
- Reaktor 2 : konsentrasi minyak solar sebesar 381 ppm, ditambahkan minyak solar sebanyak 9,9 mL.
- Reaktor 3 : konsentrasi minyak solar sebesar 830 ppm, ditambahkan minyak solar sebanyak 21,6 mL.
- Reaktor 4 : konsentrasi minyak solar sebesar 830 ppm, ditambahkan minyak solar sebanyak 33,3 ml.
- Reaktor 5 : konsentrasi minyak solar sebesar 830 ppm, ditambahkan minyak solar sebanyak 45 ml.

Penelitian pendahuluan ini dilakukan pada tanggal 8 – 16 April 2014. Penelitian pendahuluan ini direncanakan akan dilakukan selama 14 hari, namun penelitian dihentikan pada hari ke-8 karena nilai klorofil a yang semakin menurun hingga mendekati angka 0. Penurunan nilai klorofil a yang drastis dapat terjadi karena alga tidak dapat beradaptasi pada adanya pencemar minyak solar, atau kadar pencemar minyak solar yang terlalu tinggi. Penurunan nilai klorofil a secara drastis hingga mendekati 0 telah terjadi sejak hari ke-4. Pada hari ke-4 sampai ke-8 nilai klorofil a cenderung konstan, sehingga penelitian pendahuluan dihentikan di hari ke-8.

Pada penelitian ini kelima reaktor diberi perlakuan sama yaitu dengan *mixing* selama 24 jam dan dengan pencahayaan alami dari sinar matahari. Dalam penelitian pendahuluan dilakukan analisis untuk parameter suhu, pH, MLSS, dan klorofil a. Analisis semua parameter dilakukan setiap 2 hari sekali yaitu pada hari ke-0, ke-2, ke-4, ke-6 dan ke-8. Parameter klorofil a dan MLSS dianggap dapat merepresentasikan jumlah alga dan biomassa di dalam reaktor, sedangkan analisis parameter suhu dan pH dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan sistem alga. Menurut Mulyanto (2010), pertumbuhan alga dipengaruhi oleh pH dan temperatur.

#### 4.3.1 Hasil Analisis Suhu

Pada penelitian pendahuluan dilakukan analisis suhu setiap dua hari sekali yaitu pada hari ke 0, 2, 4, 6, dan 8. Analisis suhu dilakukan pada pukul 08.00 menggunakan termometer dan dilakukan langsung di dalam reaktor. Grafik analisis perubahan suhu dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1 Grafik Analisis Suhu Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

Analisis suhu perlu dilakukan untuk melihat kondisi lingkungan alga karena alga dapat tumbuh pada suhu tertentu. Menurut Krishna *et al.*, (2012), suhu yang optimum untuk pertumbuhan alga berkisar antara 28°C – 35°C. Pada Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa suhu di dalam masing-masing reaktor masih berada dalam rentang suhu optimum pertumbuhan alga yaitu antara 30 – 35°C.

Hasil pengukuran suhu pada hari ke-0 setelah penambahan minyak solar cukup tinggi pada semua reaktor, namun hasil pengukuran suhu menurun pada hari ke-2 dan ke-4 dan cenderung konstan setelahnya. Perubahan suhu pada reaktor disebabkan oleh panas dari sinar matahari. Pada siang hari ketika matahari terik, suhu dalam reaktor dapat meningkat dan akan menurun lagi saat matahari tidak lagi terik dan terbenam (Isnadina, 2013).

#### **4.3.2 Hasil Analisis pH**

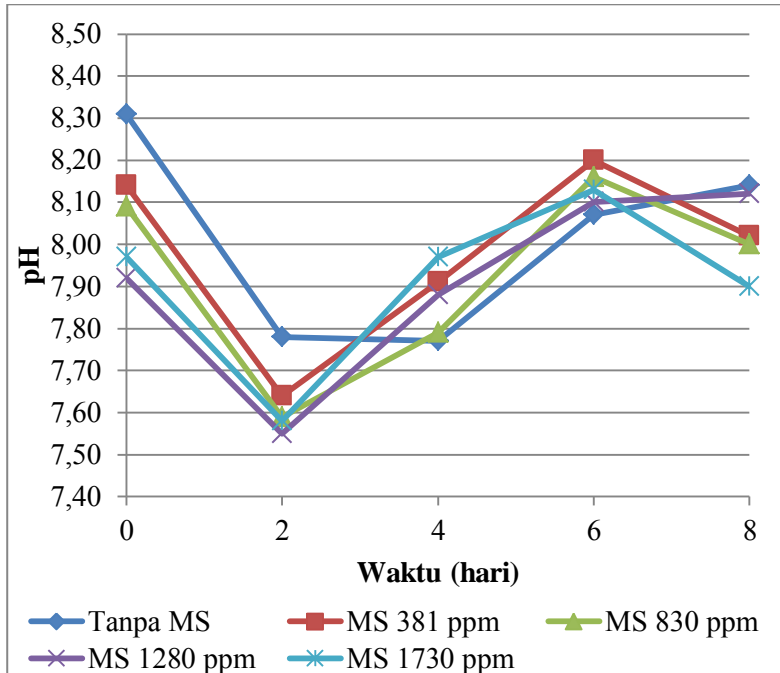
Analisis pH dilakukan dengan menggunakan alat pH meter di Laboratorium Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITS. Pengambilan sampel untuk analisis pH dilakukan setiap dua hari sekali pada pukul 08.00. Grafik analisis pH dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat grafik analisis pH pada kelima reaktor. Dapat dilihat bahwa pH dari semua reaktor berkisar antara 7 – 8,5. pH tertinggi tercatat pada reaktor kontrol di hari ke-0 yaitu sebesar 8,31 sementara pH terendah tercatat pada reaktor dengan konsentrasi minyak solar 1280 ppm pada hari ke-2 yaitu sebesar 7,55.

Menurut Makmur (2012), rentang pH optimum yang mendukung pertumbuhan alga adalah 7,8 – 8,3. Dengan demikian pH pada reaktor masih berada pada rentang optimum yang mendukung pertumbuhan alga, kecuali pada hari ke-2 dan ke-4 pada kelima reaktor, pH tercatat di bawah 7,8. Hal ini dapat



terjadi karena adanya penambahan pencemar minyak solar sehingga menurunkan nilai pH di dalam reaktor.



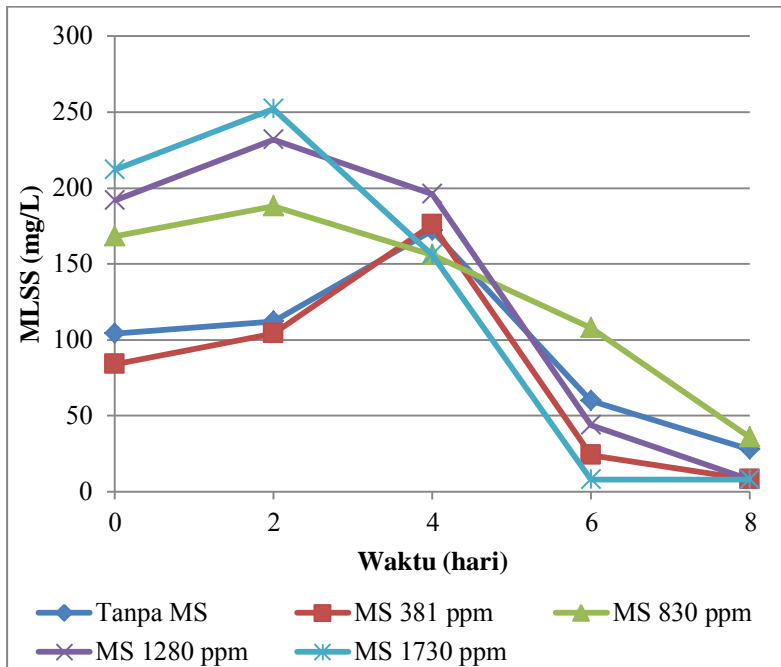
**Gambar 4.2 Grafik Analisis pH Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

#### 4.3.3 Hasil Analisis MLSS

MLSS merupakan jumlah dari bahan organik dan mineral berupa padatan terlarut, termasuk mikroorganisme (Sutapa, 1999). Analisis MLSS dilakukan dengan metode *Total Solid Dried at 103 – 105°C* (APHA, 1998). Analisis MLSS dilakukan setiap dua hari sekali dan diambil sampel pada pukul 08.00. Grafik hasil analisis MLSS pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Dari grafik dapat diketahui bahwa nilai MLSS memiliki kecenderungan meningkat pada hari kedua pada semua reaktor. Pada reaktor kontrol dan variasi konsentrasi minyak solar 381 ppm nilai MLSS pada hari ke-4 masih meningkat, namun menurun pada hari ke-6 dan ke-8. Pada variasi konsentrasi minyak solar 830 ppm nilai MLSS juga menurun setelah hari ke-2 namun penurunan yang terjadi tidak terlalu drastis. Sedangkan konsentrasi minyak solar 1280 ppm dan 1730 ppm mengakibatkan nilai MLSS cenderung turun setelah hari ke-2.

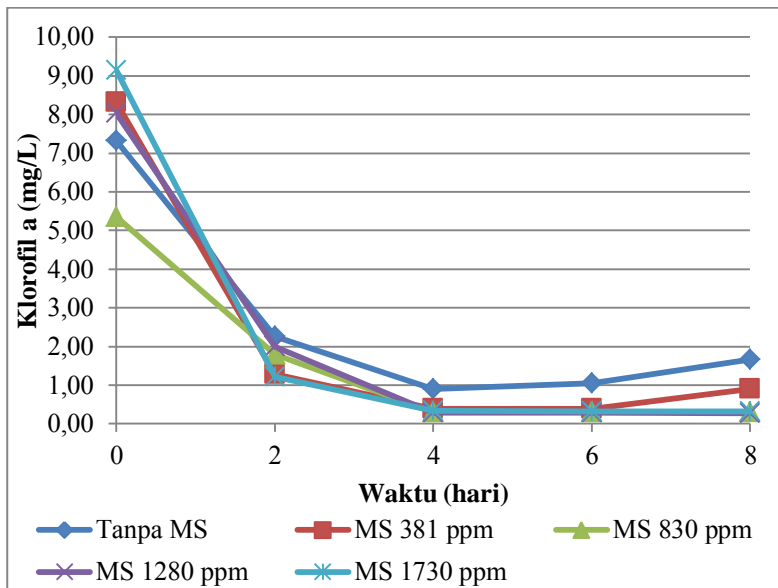
Dari nilai MLSS ini dapat diartikan bahwa dengan penambahan konsentrasi minyak solar yang cukup besar mengakibatkan penurunan dalam nilai MLSS.



**Gambar 4.3 Grafik Analisis MLSS Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

#### 4.3.4 Hasil Analisis Klorofil a

Analisis klorofil a dilakukan dengan menggunakan metode *Spectrophotometric determination of chlorophyll a*. Analisis klorofil a pada penelitian pendahuluan ini dilakukan setiap dua hari sekali dan diambil sampel pada pukul 08.00. Analisis klorofil a dilakukan untuk mengetahui perkembangan jumlah klorofil a yang ada pada reaktor. Grafik perkembangan nilai klorofil a dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4 Hasil Analisis Klorofil a Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

Pada Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa nilai klorofil a menurun drastis pada semua reaktor setelah adanya penambahan minyak solar. Penurunan nilai klorofil a paling drastis terjadi pada reaktor dengan konsentrasi minyak solar 1280 ppm dan 1730 ppm yaitu dengan penurunan sebesar 97% yaitu dari nilai awal 9,15

mg/L menjadi 0,32 mg/L. Sementara itu pada reaktor dengan konsentrasi minyak solar 381 ppm dan 830 ppm terjadi penurunan nilai klorofil a sebesar 95%. Pada reaktor kontrol terjadi penurunan nilai klorofil a sebesar 88% didapatkan dari nilai awal klorofil a sebesar 7,33 mg/L dan nilai akhir sebesar 0,89 mg/L. Namun secara keseluruhan dapat dilihat tren nilai klorofil a yang menurun.

Keberadaan alga pada reaktor juga dapat diamati secara visual. Keberadaan alga ditunjukkan dengan warna hijau tua pada reaktor. Melihat Gambar 4.5 dapat diketahui warna hijau pada reaktor di hari ke-0. Sementara pada hari ke-8 dapat dilihat pada Gambar 4.6 bahwa warna hijau pada reaktor semakin memudar.



Tanpa MS MS 381 ppm MS 830 ppm MS 1280 ppm MS 1730 ppm

**Gambar 4.5 Foto Reaktor Penelitian Pendahuluan Hari ke-0**



Tanpa MS MS 381 ppm MS 830 ppm MS 1280 ppm MS 1730 ppm

**Gambar 4.6 Foto Reaktor Penelitian Pendahuluan Hari ke-8**

Penurunan nilai klorofil a dapat terjadi karena beberapa faktor seperti adanya toksikan yang mematikan bagi alga sehingga alga tidak dapat beradaptasi. Selain itu juga dipengaruhi

oleh suhu lingkungan, pH maupun oksigen terlarut untuk respirasi.

Pada penelitian pendahuluan ini didapatkan konsentrasi minyak solar yang paling dapat ditoleransi oleh sistem yaitu dengan konsentrasi minyak solar 381 ppm dan 830 ppm. Kedua konsentrasi minyak solar ini kemudian akan digunakan dalam penelitian utama. Nilai klorofil a pada kedua konsentrasi tersebut mengalami penurunan yang paling kecil dibandingkan reaktor dengan konsentrasi lain. Selain itu, melihat dari nilai MLSS pada kedua reaktor tersebut tidak mengalami penurunan yang drastis, sebaliknya reaktor dengan konsentrasi minyak solar 381 ppm mengalami peningkatan nilai MLSS.

#### **4.4 Analisis C:N:P**

Isi dari reaktor dengan konsentrasi minyak solar 381 ppm dan 830 ppm tersebut kemudian dibagi masing-masing ke dalam empat reaktor baru yang akan digunakan untuk penelitian utama. Hasil pembagian per reaktor adalah sebanyak 4 Liter dari reaktor lama, kemudian ditambahkan 8 Liter biakan alga baru, dan sisanya ditambahkan aquades hingga kedalaman air reaktor mencapai 25 cm yaitu dengan volume 18 Liter.

Dari kedelapan reaktor tersebut kemudian masing-masing reaktor diambil sampel dan dilakukan analisis COD, total N, dan orthophosphat untuk merepresentasikan rasio C:N:P dalam sistem alga.

##### **4.4.1 Hasil Analisis COD**

Analisis COD dilakukan pada tanggal 24 April 2014. Analisis COD menggunakan metode *Closed reflux, titrimetric method*. Parameter COD dianggap dapat merepresentasikan rasio C dalam sistem alga karena hasil analisis menunjukkan COD terlarut yang berupa kadar oksigen yang dapat merepresentasikan jumlah bahan organik yang ada di dalam reaktor. Analisis COD

dilakukan pada masing-masing reaktor, yaitu sebanyak 8 reaktor. Hasil analisis COD dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Hasil Analisis COD**

<b>Reaktor</b>	<b>Variabel</b>	<b>COD (mg/L)</b>
MA 1	Minyak solar 381 ppm	37,50
MA 2	Minyak solar 381 ppm + Gula 5 gr	60,00
MA 3	Minyak solar 381 ppm + Gula 7 gr	60,00
MA 4	Minyak solar 381 ppm + Gula 10 gr	45,00
MB 1	Minyak solar 830 ppm	22,50
MB 2	Minyak solar 830 ppm + Gula 5 gr	82,50
MB 3	Minyak solar 830 ppm + Gula 7 gr	52,50
MB 4	Minyak solar 830 ppm + Gula 10 gr	22,50

#### **4.4.2 Hasil Analisis Total N**

Analisis total N dilakukan pada tanggal 24 April 2014 terhadap masing-masing reaktor, yaitu sebanyak 8 reaktor. Analisis nilai total N dilakukan dengan metode nessler. Parameter total N dianggap dapat merepresentasikan rasio N pada sistem alga. Hasil analisis total N dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Hasil Analisis Total N**

<b>Reaktor</b>	<b>Variabel</b>	<b>Total N (mg/L)</b>
MA 1	Minyak solar 381 ppm	13,14
MA 2	Minyak solar 381 ppm + Gula 5 gr	50,20
MA 3	Minyak solar 381 ppm + Gula 7 gr	9,75
MA 4	Minyak solar 381 ppm + Gula 10 gr	12,11
MB 1	Minyak solar 830 ppm	12,11
MB 2	Minyak solar 830 ppm + Gula 5 gr	13,42
MB 3	Minyak solar 830 ppm + Gula 7 gr	12,11

Reaktor	Variabel	Total N (mg/L)
MB 4	Minyak solar 830 ppm + Gula 10 gr	5,05

#### 4.4.3 Hasil Analisis Orthophosphat

Analisis orthophosphat dilakukan pada tanggal 24 April 2014. Analisis dilakukan terhadap masing-masing reaktor. Nilai orthophosphat mewakili rasio P pada sistem alga. Hasil analisis orthophosphat dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3 Hasil Analisis Orthophosphat**

Reaktor	Variabel	Orthophosphat (mg/L)
MA 1	Minyak solar 381 ppm	0,380
MA 2	Minyak solar 381 ppm + Gula 5 gr	0,682
MA 3	Minyak solar 381 ppm + Gula 7 gr	0,609
MA 4	Minyak solar 381 ppm + Gula 10 gr	0,620
MB 1	Minyak solar 830 ppm	0,401
MB 2	Minyak solar 830 ppm + Gula 5 gr	0,958
MB 3	Minyak solar 830 ppm + Gula 7 gr	0,557
MB 4	Minyak solar 830 ppm + Gula 10 gr	0,349

Berdasarkan nilai COD, Total N, dan orthophosphat tersebut dapat diketahui rasio C:N:P pada masing-masing reaktor. Rasio C:N:P tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4 Rasio C:N:P pada Reaktor**

Reaktor	C	N	P
MA 1	100	35,05	1,01
MA 2	100	83,66	1,14
MA 3	100	16,24	1,02

Reaktor	C	N	P
MA 4	100	26,91	1,38
MB 1	100	53,82	1,78
MB 2	100	16,27	1,16
MB 3	100	23,07	1,06
MB 4	100	22,46	1,55

#### 4.5 Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan tanggal 25 April 2014 hingga 24 Mei 2014. Pada penelitian utama ini dilakukan dua kali running. Running I dilakukan selama 14 hari dan dilakukan analisis parameter COD, MLSS, temperatur, pH, dan DO setiap 2 hari sekali pada hari ke-0 hingga hari ke-14 dan parameter *oil & grease* pada hari ke-0 dan hari ke-14.

Pada running II, di hari ke-14 ditambahkan biakan alga baru dengan jumlah yang sama ke dalam masing-masing reaktor. Penambahan ini dilakukan dengan harapan dapat menaikkan nilai klorofil a pada reaktor sehingga dapat merecovery sistem alga. Pada running II dilakukan analisis parameter pH, klorofil a, dan COD setiap 3 hari sekali hingga hari ke-15. Pada penelitian ini digunakan 8 reaktor dengan variasi sebagai berikut:

- Reaktor MA 1: Konsentrasi minyak solar 381 ppm dan tanpa penambahan gula.
- Reaktor MA 2: Konsentrasi minyak solar 381 ppm dan gula 5 gram.
- Reaktor MA 3: Konsentrasi minyak solar 381 ppm dan gula 7 gram.
- Reaktor MA 4: Konsentrasi minyak solar 381 ppm dan gula 10 gram.
- Reaktor MB 1: Konsentrasi minyak solar 830 ppm dan tanpa penambahan gula.
- Reaktor MB 2: Konsentrasi minyak solar 830 ppm dan gula 5 gram.



- Reaktor MB 3: Konsentrasi minyak solar 830 ppm dan gula 7 gram.
- Reaktor MB 4: Konsentrasi minyak solar 830 ppm dan gula 10 gram.

Kedelapan reaktor ini mendapat perlakuan sama yaitu pencahayaan alami dari sinar matahari dan pengadukan selama 24 jam dengan menggunakan spesifikasi pompa yang sama.

Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 dapat dilihat dokumentasi dari masing-masing reaktor pada saat hari ke-0 dimana reaktor berwarna hijau. Pada hari ke-14, terlihat perubahan warna dari reaktor yang semakin menguning yang dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10. Sedangkan pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 merupakan reaktor pada hari ke-29 setelah adanya penambahan biakan alga baru. Pada gambar tersebut dapat dilihat perbedaan warna yang signifikan, yaitu reaktor berwarna hijau kembali.

Dari foto tersebut dapat dilihat visualisasi warna dari reaktor bahwa dari hari ke hari reaktor berwarna semakin menguning. Namun setelah ditambahkan biakan alga baru, warna reaktor dapat berubah menjadi lebih hijau.



Tanpa gula    Gula 5 gr    Gula 7 gr    Gula 10 gr

**Gambar 4.7 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-0  
Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm dengan Variasi  
Penambahan Gula**



Tanpa gula    Gula 5 gr    Gula 7 gr    Gula 10 gr

**Gambar 4.8 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-0  
Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm dengan Variasi  
Penambahan Gula**



Tanpa gula    Gula 5 gr    Gula 7 gr    Gula 10 gr

**Gambar 4.9 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-14  
Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm dengan Variasi  
Penambahan Gula**



Tanpa gula    Gula 5 gr    Gula 7 gr    Gula 10 gr

**Gambar 4.10 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-14  
Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm dengan Variasi  
Penambahan Gula**



Tanpa gula    Gula 5 gr    Gula 7 gr    Gula 10 gr

**Gambar 4.11 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-29  
Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm dengan Variasi  
Penambahan Gula**



Tanpa gula    Gula 5 gr    Gula 7 gr    Gula 10 gr

**Gambar 4.12 Foto Reaktor Penelitian Utama Hari ke-29  
Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm dengan Variasi  
Penambahan Gula**

#### 4.5.1 Hasil Analisis Suhu

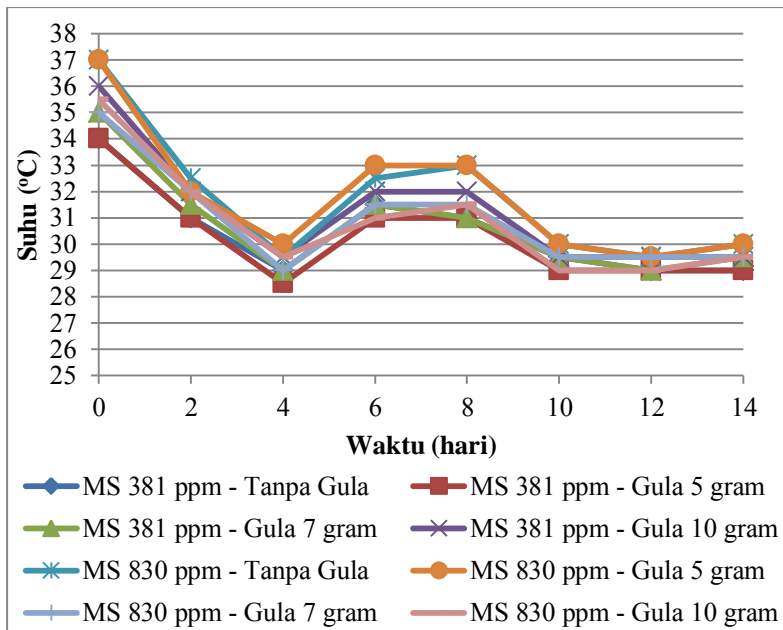
Analisis suhu pada masing-masing reaktor dilakukan dengan menggunakan alat termometer. Analisis dilakukan langsung di dalam reaktor pada rumah kaca, tanpa dilakukan pengambilan sampel. Analisis suhu dilakukan setiap dua hari sekali pada pukul 08.00. Grafik analisis suhu pada penelitian utama untuk semua reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.13.

Melihat Gambar 4.13, suhu yang tercatat pada hari ke-0 setelah penambahan minyak solar cukup tinggi, bahkan pada beberapa reaktor melebihi 35°C. Namun pada hari ke-2 dan hari ke-4 suhu reaktor cenderung turun tidak setinggi pada hari ke-0

dan masih berada dalam batas suhu yang dapat ditoleransi oleh alga. Pada keseluruhan reaktor, suhu mengalami peningkatan pada hari ke-6 dan menurun lagi pada hari ke-10.

Perubahan suhu yang terjadi secara serentak pada semua reaktor dapat terjadi karena pengaruh lingkungan. Suhu pada reaktor dapat meningkat karena adanya panas dari sinar matahari. Pada semua reaktor suhu tercatat berkisar antara 28°C sampai 37°C.

Cuaca dan teriknya matahari dapat mempengaruhi suhu pada reaktor. Pada siang hari ketika matahari sangat terik, maka suhu reaktor dapat menjadi lebih tinggi daripada waktu malam hari ketika matahari terbenam. Menurut Krishna *et al.*, (2012), suhu yang optimum untuk pertumbuhan alga berkisar antara 28°C – 35°C.



**Gambar 4.13 Grafik Analisis Suhu Penelitian Utama**

#### 4.5.2 Hasil Analisis DO

Analisis nilai *dissolved oxygen* (DO) dilakukan dengan metode *azide modification method* (APHA, 1999). Analisis dilakukan setiap dua hari sekali. Dalam satu hari dilakukan dua kali analisis DO. Sampel setiap harinya diambil pada pukul 06.00 dan 15.00.

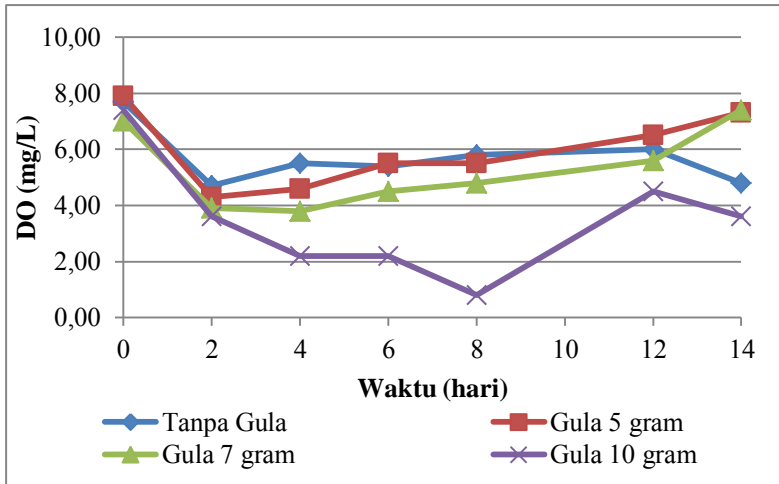
Menurut Effendi (2003), kadar oksigen yang terlarut di dalam air bergantung pada suhu, salinitas, turbulensi air, dan tekanan atmosfer. Nilai DO dan suhu berbanding terbalik. Menurut Astono (2010), kelarutan oksigen tertinggi pada perairan jernih terjadi pada suhu 0°C dan terendah pada suhu 30°C.

Nilai DO pada sore hari lebih rendah dibandingkan DO pada pagi hari. Hal ini disebabkan oleh nilai DO yang berbanding terbalik dengan suhu. Ketika sore hari, panas dari cahaya matahari akan terakumulasi dan dapat meningkatkan suhu pada reaktor, sehingga nilai DO pada sore hari menjadi rendah, sementara pada pagi hari, suhu pada reaktor seharusnya lebih rendah karena tidak ada akumulasi panas dari cahaya matahari sehingga nilai DO pada pagi hari cenderung lebih tinggi.

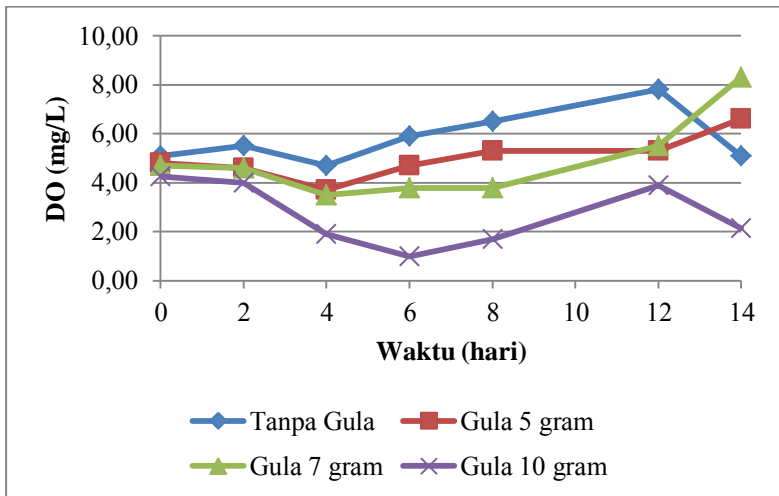
Nilai DO pada reaktor kontrol baik pada pagi dan sore hari cenderung lebih tinggi daripada reaktor yang diberi penambahan gula. Pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 untuk konsentrasi minyak solar 381 ppm dapat dilihat nilai DO terendah adalah pada reaktor MA 4 yaitu dengan variasi penambahan gula 10 gram.

Pada reaktor kontrol tanpa penambahan gula memiliki nilai yang paling tinggi diantara ketiga reaktor lain. Pada grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar penambahan gula, semakin rendah nilai DO.

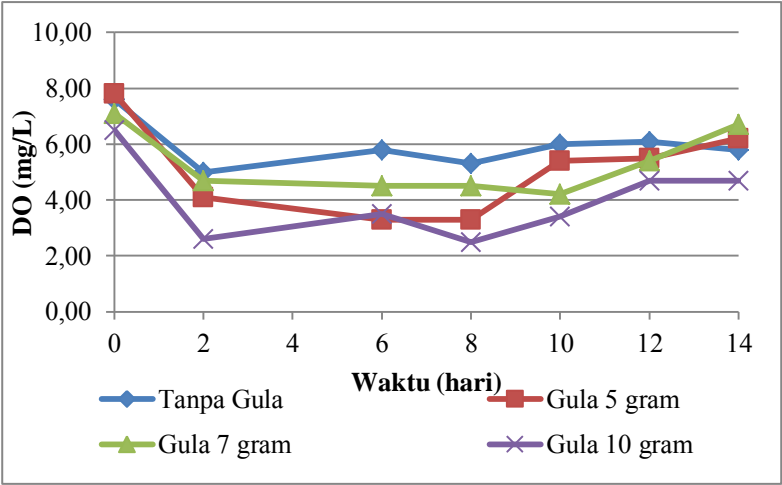
Sementara itu nilai DO pada pagi dan sore hari di semua reaktor mengalami penurunan di hari ke-4 dan kemudian mengalami peningkatan, kecuali reaktor MA 4 dengan variasi penambahan gula 10 gram yang masih mengalami penurunan hingga hari ke-6.



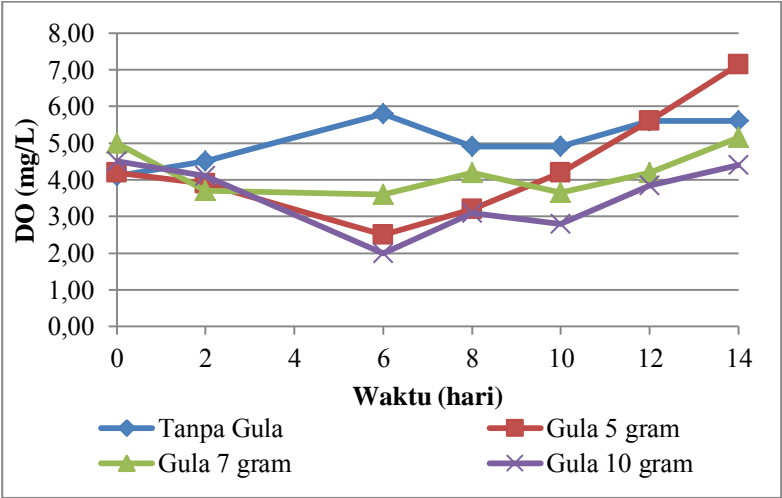
**Gambar 4.14 Grafik Analisis DO Pagi Konsentrasi minyak solar 381 ppm**



**Gambar 4.15 Grafik Analisis DO Sore Konsentrasi minyak solar 381 ppm**



**Gambar 4.16 Grafik Analisis DO Pagi Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm**



**Gambar 4.17Grafik Analisis DO Sore Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm**

Hasil analisis DO pada pagi dan sore hari untuk konsentrasi minyak solar 830 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai DO pada pagi dan sore hari untuk reaktor kontrol tanpa penambahan gula memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor yang diberi penambahan gula.

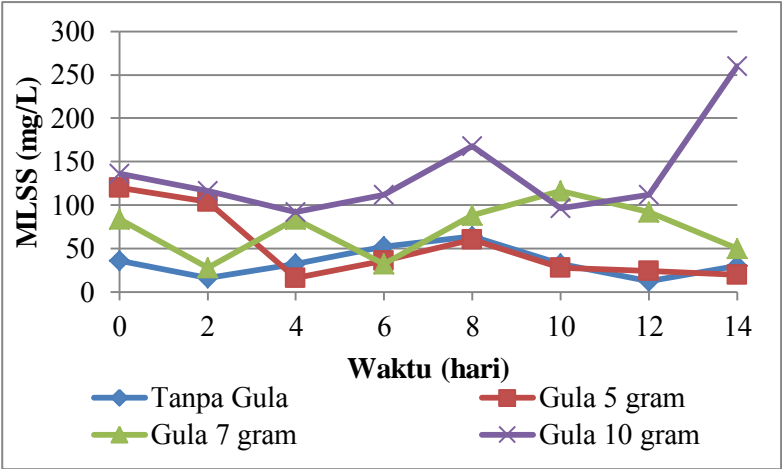
Pada pagi hari nilai DO dari semua reaktor dengan konsentrasi minyak solar 830 ppm mengalami penurunan pada hari ke-2, setelah itu nilai DO cenderung meningkat setelahnya. Pada sore hari, nilai DO mengalami penurunan di hari ke-2 kecuali reaktor kontrol yang mengalami peningkatan pada hari yang sama. Sementara itu reaktor dengan penambahan gula mengalami kenaikan nilai DO mulai pada hari ke-6.

#### **4.5.3 Hasil Analisis MLSS**

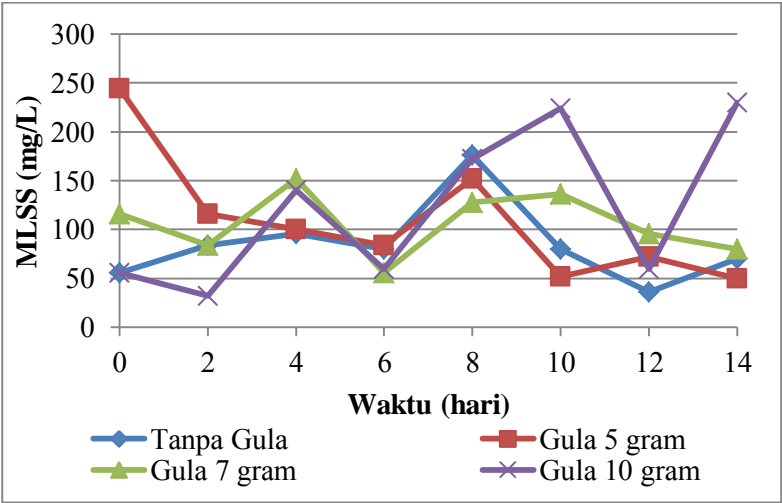
Analisis nilai MLSS dilakukan dengan metode *Total Solids Dried at 103 – 105°C*. Analisis dilakukan setiap dua hari sekali dan diambil sampel pada pukul 08.00.

Pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 dapat dilihat nilai MLSS pada reaktor kontrol baik pada konsentrasi minyak solar 381 ppm maupun 830 ppm memiliki tren menurun dengan sangat landai. Pada reaktor dengan penambahan gula 5 gram di kedua konsentrasi minyak solar, nilai MLSS memiliki tren menurun dan lebih curam dibandingkan reaktor kontrol. Pada penambahan gula 7 gram, nilai MLSS pada konsentrasi minyak solar 381 ppm meningkat sangat kecil, sementara pada konsentrasi minyak solar 830 ppm nilai MLSS meningkat dengan landai. Pada kedua reaktor dengan penambahan gula 10 gram pada kedua konsentrasi minyak solar, nilai MLSS memiliki tren yang meningkat dengan landai. Dari kedua macam konsentrasi minyak solar, reaktor kontrol memiliki nilai MLSS yang kecil dibandingkan dengan reaktor dengan penambahan gula 10 gram. Namun nilai MLSS dari konsentrasi minyak solar 830 ppm cenderung fluktuatif dari hari ke hari.





Gambar 4.18 Grafik Analisis MLSS Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm



Gambar 4.19 Grafik Analisis MLSS Konsetrasi Minyak Solar 830 ppm

Aktifitas dan pertumbuhan bakteri dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, cahaya dan radiasi, serta faktor kimia lain seperti pH, salinitas, bahan organik dan zat kimia (Holth, 1979). Dari kedua grafik tersebut dapat dilihat bahwa dengan penambahan gula 10 gram didapatkan nilai MLSS tertinggi yaitu 260 mg/L pada reaktor dengan konsentrasi minyak solar sebesar 381 ppm.

Nilai MLSS yang menurun pada hari ke-2 dapat disebabkan oleh adanya peningkatan konsentrasi substrat. Menurut Olafadehan dan Alabi (2009) penurunan laju pertumbuhan mikroorganisme yang diiringi dengan peningkatan nilai COD pada awal proses *batch* dapat terjadi karena mikroorganisme memerlukan waktu untuk beradaptasi dan bekerja untuk bisa menguraikan substrat dengan stabil.

Pada penambahan gula 10 gram, kedua reaktor memiliki tren nilai MLSS yang meningkat. Pada konsentrasi minyak solar 381 ppm dan penambahan gula 7 gram, nilai MLSS juga memiliki tren meningkat. Sementara itu pada reaktor lainnya nilai MLSS memiliki tren yang menurun. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan substrat dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri, meskipun adanya penambahan kadar pencemar, dalam hal ini berupa minyak solar.

#### **4.5.4 Hasil Analisis pH**

Analisis pH dilakukan dengan menggunakan alat pH meter di Laboratorium Limbah padat dan B3 Teknik Lingkungan ITS. Analisis pH dilakukan pada sampel yang diambil pada pukul 08.00 setiap dua hari sekali. Gambar 4.20 menunjukkan nilai pH pada reaktor dengan konsentrasi minyak solar 381 ppm dan Gambar 4.21 menunjukkan nilai pH pada reaktor dengan konsentrasi minyak solar sebesar 830 ppm.

Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat pada konsentrasi minyak solar 381 ppm nilai pH pada running I, yaitu pada penambahan minyak solar menurun drastis pada hari-hari awal

yaitu hingga hari ke-4. Selanjutnya nilai pH menurun landai pada hari-hari berikutnya. Hal ini dapat terjadi karena berkurangnya aktivitas fotosintesis oleh alga di dalam reaktor. Hal ini dapat terjadi karena adanya perubahan lingkungan alga akibat penambahan pencemar minyak solar.

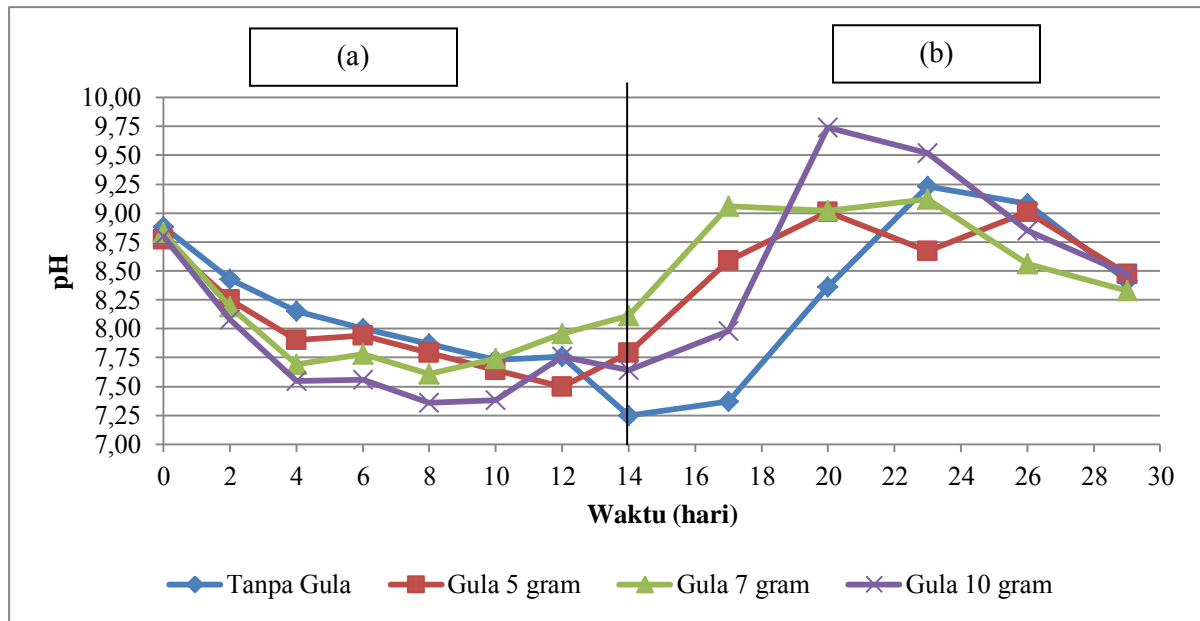
Pada running II yaitu setelah adanya penambahan biakan alga baru nilai pH pada reaktor dengan penambahan gula sebanyak 7 gram dalam 18 Liter air dalam reaktor meningkat dengan pesat hingga 9,74. Kenaikan pH pada running II terjadi hingga hari ke-20. Pada hari ke-23, hanya reaktor kontrol saja yang masih mengalami kenaikan nilai pH hingga sebesar 9,23 sementara reaktor lain dengan penambahan gula mengalami penurunan nilai pH. Pada hari ke 29, semua reaktor memiliki pH yang cukup baik yaitu sekitar 8 – 8,5.

Menurut Prihantini *et al.*, (2005), perubahan pH yang drastis dapat mempengaruhi kinerja enzim serta dapat menghambat proses fotosintesis dan pertumbuhan beberapa mikroalga. Nilai pH merupakan faktor penting dalam pertumbuhan alga hijau biru.

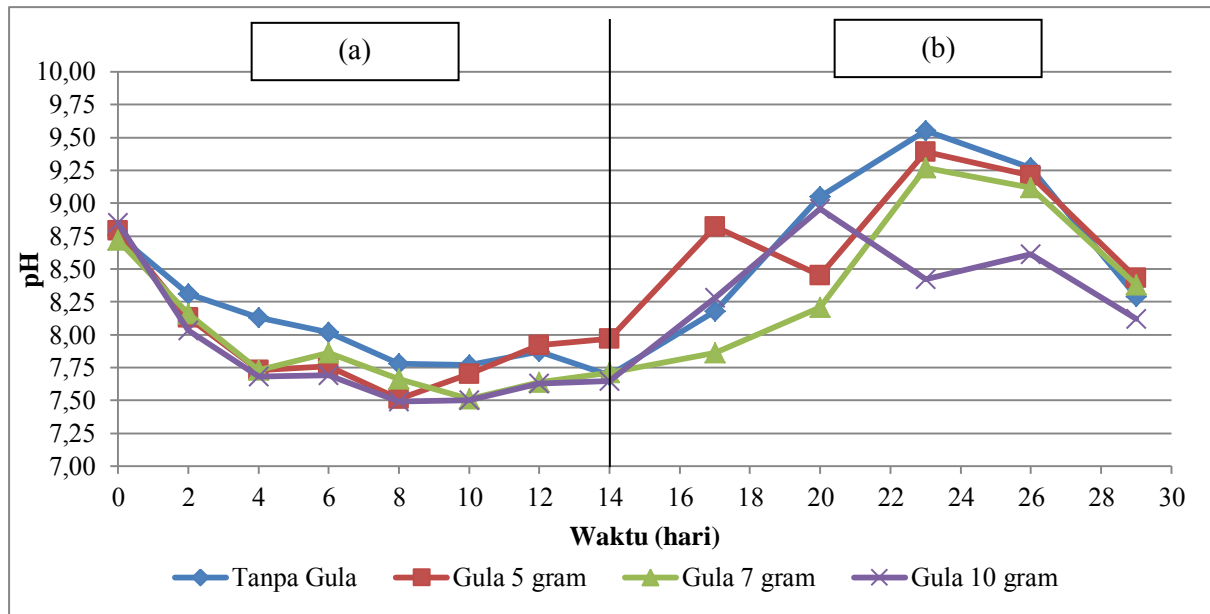
Alga hijau biru tumbuh baik pada pH netral dan dapat mentolerir kondisi basa daripada asam karena dapat memanfaatkan karbon dioksida dengan efisien. pH diatas 10,5 dan dibawah 7 dapat menghambat pertumbuhan alga (Hariyati, 2008). pH dalam reaktor menunjukkan masih berada pada rentang yang efisien untuk pertumbuhan alga, yaitu kondisi netral dan sedikit basa.

Menurut Sunarto (2008), proses fotosintesis yang terjadi dapat meningkatkan pH karena adanya penyerapan  $\text{CO}_2$  oleh alga. Namun adanya proses respirasi yang menghasilkan  $\text{CO}_2$  juga dapat menurunkan pH.

Dengan demikian dapat dilihat bahwa nilai pH pada masing-masing reaktor dari hari ke hari masih berada pada rentang yang baik bagi pertumbuhan alga. Selain itu pada masing-masing reaktor tidak terdapat perubahan pH yang sangat drastis.



**Gambar 4.20 Grafik Analisis pH Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm:**  
**(a) Penambahan Minyak Solar**  
**(b) Penambahan Biakan Alga**



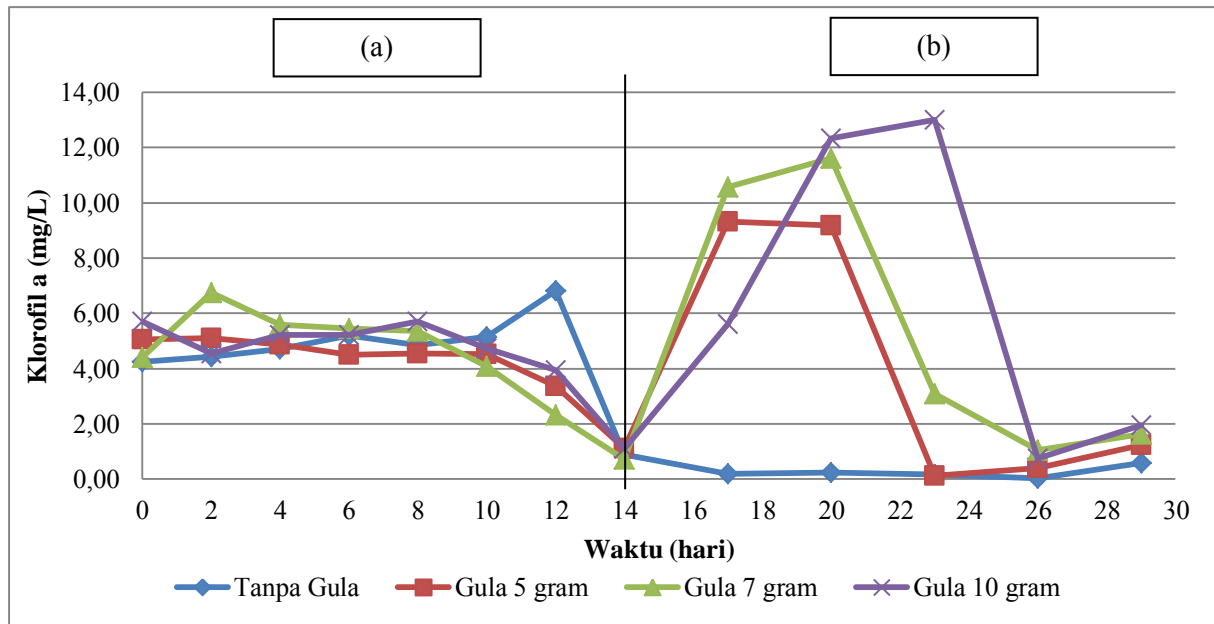
**Gambar 4.21 Grafik Analisis pH Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm:**  
**(a) Penambahan Minyak Solar**  
**(b) Penambahan Biakan Alga**

#### 4.5.5 Hasil Analisis Klorofil a

Analisis klorofil a dilakukan dengan menggunakan metode *Spectrophotometric Determination of Chlorophyll a*. Analisis klorofil a dilakukan setiap dua hari sekali dan diambil sampel setiap pukul 08.00. Hasil analisis grafik klorofil a dapat dilihat pada Gambar 4.22.

Berdasarkan Gambar 4.22 tersebut dapat dilihat bahwa nilai klorofil a running I pada konsentrasi minyak solar rendah yaitu 381 ppm mengalami penurunan. Reaktor dengan penambahan gula sebanyak 10 gram sempat mengalami sedikit peningkatan nilai klorofil a pada hari ke-4 dan ke-8. Sementara pada reaktor kontrol nilai klorofil a mengalami peningkatan sampai pada hari ke-12 sebelum akhirnya turun pada hari ke-14. Namun nilai klorofil a dari keseluruhan reaktor pada hari ke-14 mengalami penurunan hingga mendekati 0. Nilai klorofil a memiliki kecenderungan bernilai cukup konstan hingga hari ke-8 dan mulai menurun di hari-hari selanjutnya.

Pada running II, adanya penambahan biakan alga baru meningkatkan nilai klorofil a dengan pesat pada semua reaktor dengan penambahan gula, namun nilai klorofil a pada reaktor kontrol tidak bisa bertambah dan relatif konstan hingga hari ke-29. Pada hari ke-20, nilai klorofil a pada reaktor dengan penambahan gula 5 gram menurun kecil yaitu dari 9,32 mg/L menjadi 9,19 mg/L, sementara dengan penambahan gula 7 gram nilai klorofil a meningkat sedikit yaitu dari 10,58 mg/L menjadi 11,61 mg/L dan pada penambahan gula 10 gram nilai klorofil a meningkat sangat tajam dari 5,61 mg/L menjadi 12,34 mg/L. Namun pada hari ke-23 hanya reaktor dengan penambahan gula 10 gram yang masih mengalami sedikit peningkatan sementara nilai klorofil a pada reaktor lain mengalami penurunan. Namun demikian, pada hari ke-26 reaktor tersebut mengalami penurunan nilai klorofil a yang cukup drastis. Pada hari ke-29 semua reaktor mengalami peningkatan nilai klorofil a.



**Gambar 4.22 Grafik Analisis Klorofil a Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm:**  
**(a) Penambahan Minyak Solar**  
**(b) Penambahan Biakan Alga**

Pada konsentrasi minyak solar sebesar 830 ppm didapatkan grafik nilai klorofil a yang dapat dilihat pada Gambar 4.23. Pada running I yaitu penambahan minyak solar, didapatkan tren nilai klorofil a yang menurun pada semua reaktor. Reaktor dengan penambahan gula sebanyak 10 gram mengalami peningkatan nilai klorofil a dari 3,86 mg/L menjadi 6,36 mg/L pada hari ke-8.

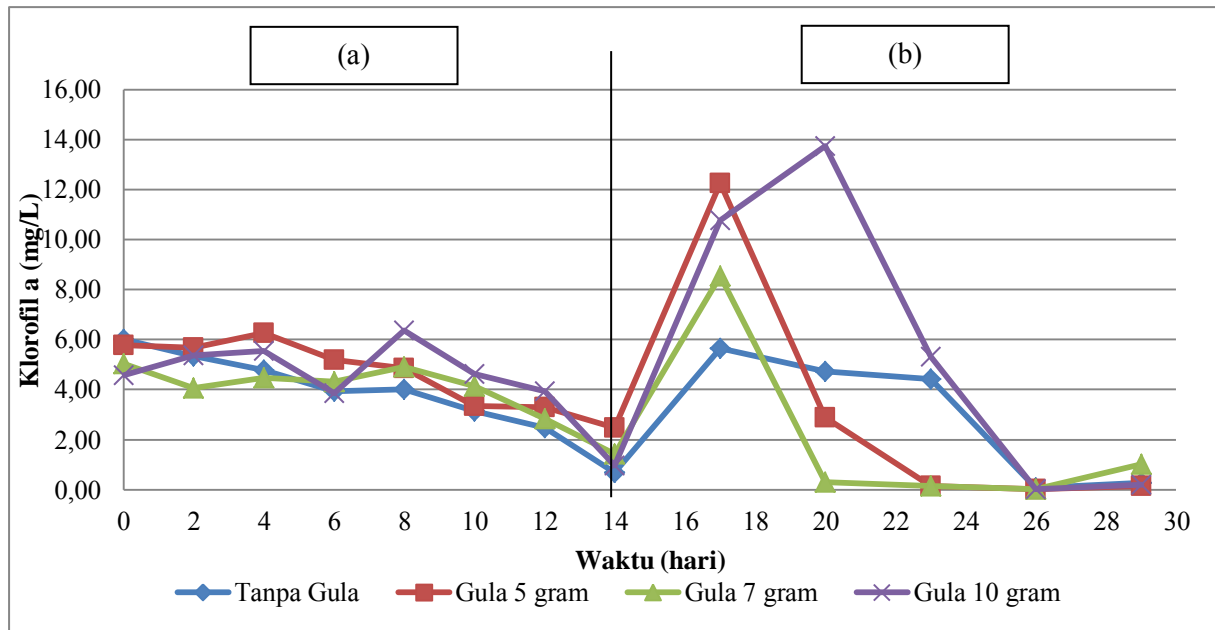
Pada running II yaitu setelah penambahan biakan alga baru terjadi peningkatan nilai klorofil a yang cukup drastis pada semua reaktor di hari ke-17. Namun peningkatan tertinggi terjadi pada reaktor dengan penambahan gula 10 gram. Pada reaktor ini nilai klorofil a tetap meningkat di hari ke-20 sementara reaktor lain mengalami penurunan. Pada hari ke-23 dan ke-26 semua nilai klorofil a mengalami penurunan.

Nilai klorofil a merepresentasikan banyaknya alga yang ada dalam reaktor. Penurunan nilai klorofil a menunjukkan kematian pada biakan alga. Keberlangsungan hidup alga di dalam reaktor dipengaruhi oleh adanya cahaya matahari karena cahaya matahari diperlukan oleh alga untuk melakukan fotosintesis. Selain cahaya matahari, alga juga memerlukan nutrisi, pH, dan temperatur yang sesuai untuk keberlangsungan hidupnya (Mulyanto, 2010).

Dalam sistem *batch* ini diperkirakan alga mengalami kematian karena kurangnya nutrisi. Semakin lama nutrisi yang ada di dalam reaktor tersebut akan berkurang sehingga menyebabkan penurunan nilai klorofil a.

Adanya penambahan biakan alga baru menyebabkan nilai klorofil a mengalami peningkatan. Hal ini dapat terjadi karena pada biakan alga yang ditambahkan tersebut mengandung nilai klorofil a yang tinggi serta nutrisi yang masih cukup atau bahkan berlebih. Sehingga setelah adanya penambahan biakan alga baru, dapat meningkatkan nilai klorofil a pada reaktor. Meskipun demikian keterbatasan nutrisi masih juga dapat terjadi, terlihat pada hari ke-24 dimana nilai klorofil a mengalami penurunan.





**Gambar 4.23 Grafik Analisis Klorofil a Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm:**  
**(a) Penambahan Minyak Solar**  
**(b) Penambahan Biakan Alga**

#### 4.5.6 Hasil Analisis COD

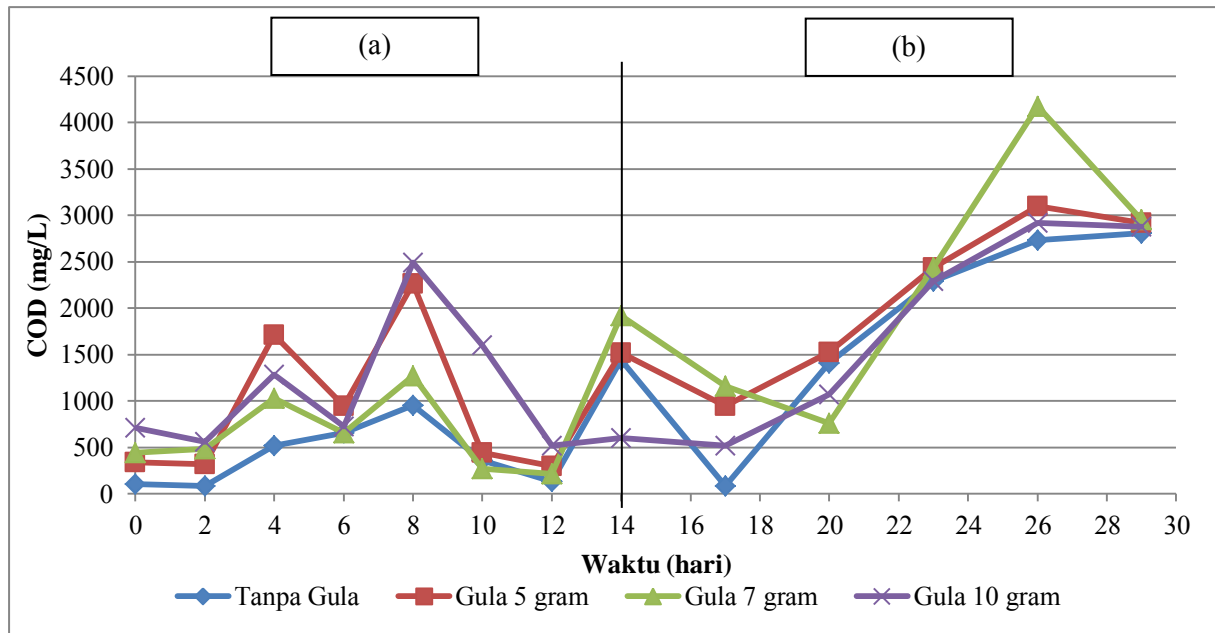
Analisis COD dilakukan dengan menggunakan metode *Closed reflux*. Analisis dilakukan setiap dua hari sekali dan diambil sampel pada pukul 08.00. Grafik analisis COD dapat dilihat pada Gambar 4.24 dan Gambar 4.25.

Berdasarkan Gambar 4.24, dengan konsentrasi minyak solar 381 ppm nilai COD pada masing-masing reaktor pada running I memiliki tren meningkat. Pada reaktor kontrol nilai COD berfluktuasi cukup rendah dibandingkan reaktor lain. Pada reaktor dengan penambahan gula 10 gram terlihat nilai COD naik terus hingga hari ke-8 dan menurun hingga hari ke-14. Adanya penambahan biakan alga baru pada running II menyebabkan nilai COD pada keempat reaktor meningkat hingga hari ke-29.

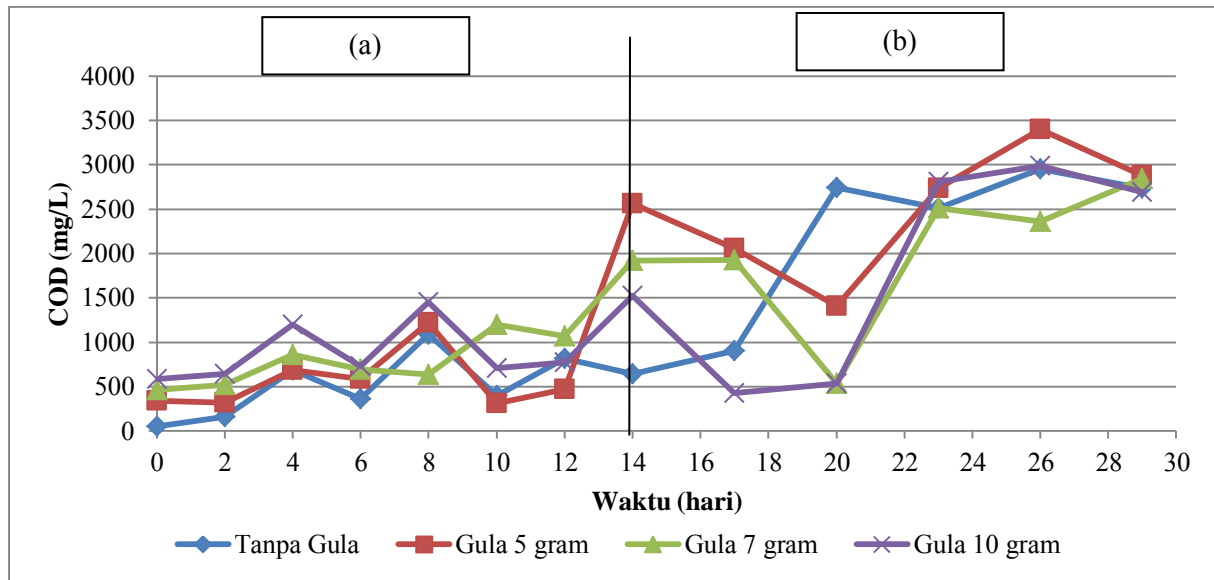
Dari Gambar 4.25 dengan konsentrasi minyak solar 830 ppm didapatkan nilai COD yang meningkat hingga hari ke-14 pada semua reaktor. Namun pada reaktor dengan penambahan gula 5 gram didapatkan nilai COD pada hari ke-14 yang naik sangat tajam. Setelah adanya penambahan biakan alga baru pada running II, nilai COD pada reaktor kontrol cenderung meningkat hingga hari ke-29. Sementara itu pada reaktor dengan penambahan gula nilai COD sempat turun hingga hari ke-20 dan kemudian meningkat lagi hingga hari ke-29.

Perubahan nilai COD pada konsentrasi minyak solar 381 ppm lebih fluktuatif dari hari ke hari dibandingkan dengan konsentrasi 830 ppm. Namun tren peningkatan COD pada konsentrasi minyak solar 830 ppm lebih curam daripada konsentrasi minyak solar 381 ppm.

Peningkatan nilai COD pada hari-hari awal dalam reaktor dapat disebabkan karena adanya substrat yang ditambahkan pada reaktor. Menurut Mai (2006) peningkatan COD dan penurunan pH menandakan adanya penurunan kinerja dari mikroorganisme. Menurut Mulyani (2012), penurunan kinerja mikroorganisme dapat disebabkan karena adanya substrat organik dengan kadar tinggi.



**Gambar 4.24 Grafik Analisis COD Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm:**  
**(a) Penambahan Minyak Solar**  
**(b) Penambahan Biakan Alga**



**Gambar 4.25 Grafik Analisis COD Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm:**  
 (a) Penambahan Minyak Solar  
 (b) Penambahan Biakan Alga

#### 4.5.7 Hasil Analisis Oil & Grease

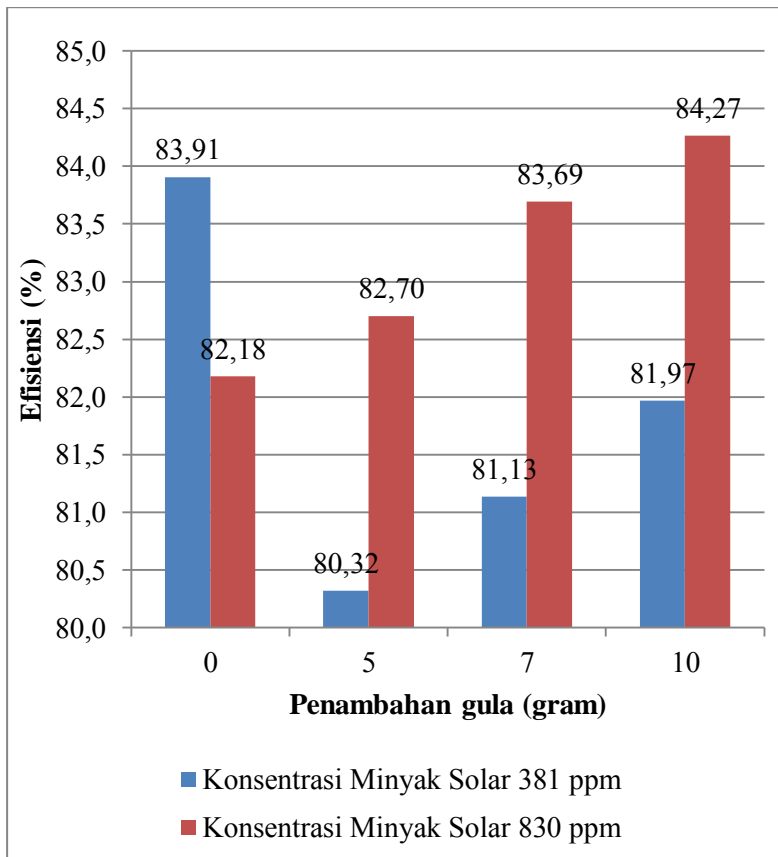
Analisis parameter *oil & grease* dilakukan pada awal running I dan akhir running I, yaitu pada hari ke-0 dan hari ke-14. Analisis parameter *oil & grease* dilakukan dengan menggunakan metode *Soxhlet Extraction Method*. Analisis *oil & grease* dilakukan untuk menggantikan parameter *total petroleum hydrocarbon* (TPH) yang direncanakan di awal penelitian. Analisis TPH dengan metode *gas chromatography* (GC) tidak dilakukan karena dalam proses analisis terjadi kerusakan alat GC sehingga diputuskan untuk mengganti parameter TPH dengan *oil & grease*. Parameter *oil & grease* menunjukkan besarnya kadar minyak dan lemak yang terkandung di dalam reaktor.

Hasil pengukuran *oil & grease* pada hari ke-14 menunjukkan kandungan minyak dan lemak yang tersisa di dalam reaktor. Presentase selisih kandungan *oil & grease* pada awal dan akhir penelitian tersebut dapat merepresentasikan penurunan kandungan minyak solar yang telah ditambahkan ke dalam reaktor pada hari ke-0. Hasil perhitungan efisiensi penurunan kandungan minyak solar di dalam masing-masing reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5 Hasil Analisis dan Efisiensi Oil & Grease**

No	Sampel	Konsentrasi <i>oil &amp; grease</i> (mg/L)		Efisiensi (%)
		T-0	T-14	
1	MA1	363,5	58,50	83,91
2	MA2	312,5	61,50	80,32
3	MA3	326,0	61,50	81,13
4	MA4	335,5	60,50	81,97
5	MB1	721,0	128,50	82,18
6	MB2	777,5	134,50	82,70
7	MB3	809,5	132,00	83,69
8	MB4	724,5	114,00	84,27

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui efisiensi penurunan kandungan minyak solar pada masing-masing reaktor. Efisiensi penurunan kandungan minyak solar menunjukkan kisaran nilai antara 80,32% - 84,27%. Grafik efisiensi penurunan kandungan minyak solar pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.26.

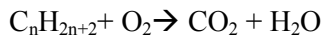


**Gambar 4.26 Grafik Efisiensi Penurunan Kandungan Minyak Solar**

Dari hasil analisis tersebut dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi adalah sebesar 84,27% yang didapat pada reaktor MB4 dengan variasi konsentrasi minyak solar sebesar 830 ppm dan penambahan gula sebanyak 10 gram ke dalam 18 Liter air. Reaktor dengan variasi konsentrasi minyak solar 381 ppm memiliki nilai efisiensi tertinggi sebesar 83,91% dengan variasi tanpa penambahan gula. Nilai efisiensi terkecil adalah sebesar 80,32% yang terjadi pada reaktor MA2 yaitu dengan variasi konsentrasi minyak solar 381 ppm dan penambahan gula sebanyak 5 gram ke dalam 18 Liter air.

Pada konsentrasi minyak solar 830 ppm dapat dilihat kecenderungan peningkatan efisiensi seiring dengan peningkatan jumlah banyaknya gula yang ditambahkan ke dalam reaktor. Pada konsentrasi minyak solar 381 ppm, semakin banyak penambahan gula menyebabkan semakin tingginya nilai efisiensi penyisihan kandungan minyak. Namun pada konsentrasi minyak solar 381 ppm dan tanpa penambahan gula, diduga tingginya efisiensi penyisihan kandungan minyak solar dikarenakan bakteri yang kelaparan sehingga penurunan kandungan minyak solar tinggi.

Penambahan glukosa sebagai *co-substrate* dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan minyak solar. Proses degradasi minyak solar yang memiliki struktur rantai alkana oleh bakteri adalah sebagai berikut:



Pada sistem HRAR juga terjadi proses adsorpsi. Penurunan kandungan minyak solar di dalam reaktor juga disebabkan karena minyak solar menempel pada alga yang ada di dalam reaktor seperti terlihat pada Gambar 4.27 dimana di tepian dalam reaktor terbentuk lapisan tipis yang berminyak.

Proses adsorpsi sel mikroalga dengan minyak solar dimungkinkan terjadi karena adanya gaya tarik menarik antara partikel tidak sejenis yaitu partikel minyak solar dan sel mikroalga.



**Gambar 4.27 Lapisan yang Terbentuk di Pinggiran Reaktor**

#### **4.6 Analisis Korelasi Antar Parameter**

Analisis korelasi antar parameter dilakukan dengan membandingkan data dari satu parameter dengan parameter lain. Pada bagian ini akan dibandingkan analisis parameter COD, MLSS, klorofil a, dan *oil & grease*.

Kinerja sistem HRAR dipengaruhi oleh simbiosis antara alga dengan bakteri. Analisis korelasi antar parameter ini diharapkan dapat menjelaskan faktor-faktor yang mendukung kinerja HRAR dalam menurunkan kandungan minyak solar yang dihitung sebagai *oil & grease*.

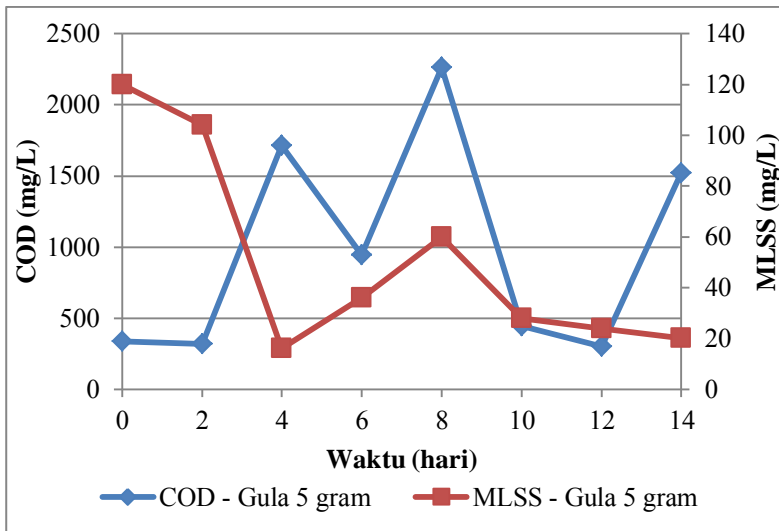
##### **4.6.1 Korelasi antara COD dengan MLSS**

Menurut Rahman (1989), substrat berfungsi sebagai sumber energi dan bahan pembentuk sel. Jumlah substrat dalam reaktor dianalisis sebagai nilai COD. Menurut Suligundi (2013), zat-zat organik terdegradasi oleh mikroorganisme sehingga dapat menurunkan kadar COD. Oleh sebab itu, dengan adanya peningkatan jumlah mikroorganisme, maka kadar COD akan



menurun. Namun apabila kadar COD meningkat, dapat diartikan bahwa jumlah mikroorganisme menurun.

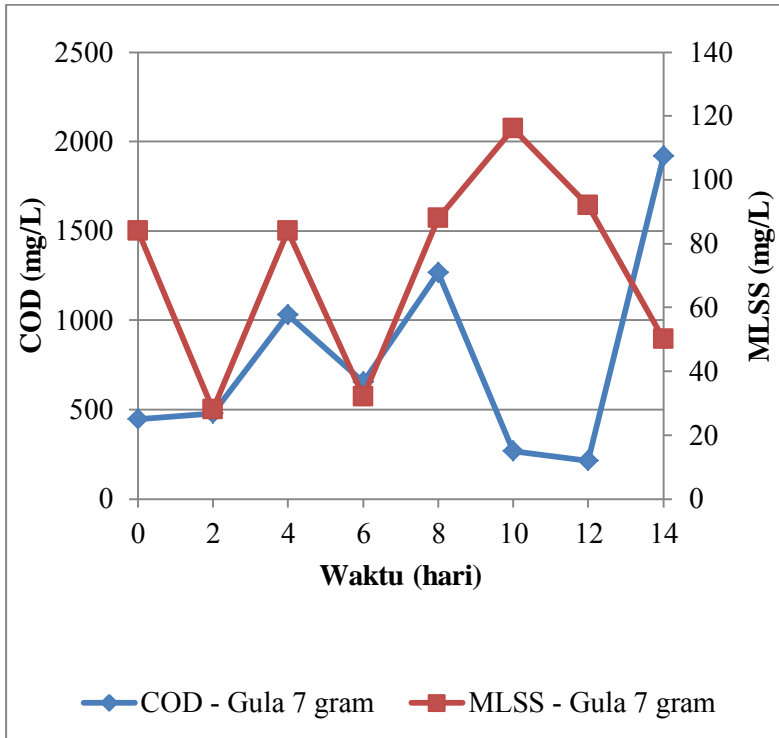
Pada Gambar 4.28 dapat dilihat perbandingan nilai COD dan MLSS pada reaktor MA 2 yaitu dengan konsentrasi minyak solar 381 ppm dan penambahan gula 5 gram. Grafik menunjukkan tren yang meningkat untuk nilai COD dan tren menurun untuk nilai MLSS. Penurunan nilai MLSS menunjukkan kematian mikroorganisme lebih tinggi daripada laju pertumbuhannya. Mikroorganisme yang mati tersebut selanjutnya dapat mengalami lisis yang akan mengakibatkan kenaikan dalam nilai COD (Budhi, *et al.*, 1999).



**Gambar 4.28 Grafik Korelasi COD dan MLSS Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm**

Selain itu nilai COD juga dapat meningkat karena adanya penambahan substrat. Hubungan terbalik antara nilai COD dan MLSS juga terjadi pada reaktor MA 1 dan MA 2 yaitu reaktor kontrol tanpa penambahan gula, reaktor MB 2 dengan konsentrasi

minyak solar 830 ppm dan penambahan gula 5 gram, serta reaktor MB 3 yaitu dengan variasi konsentrasi minyak solar 830 ppm dan penambahan gula 7 gram. Grafik hubungan nilai COD dan MLSS pada reaktor tersebut dapat dilihat pada lampiran.



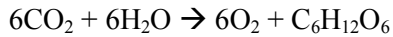
**Gambar 4.29 Grafik Korelasi COD dan MLSS Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm**

Peningkatan nilai COD yang diiringi dengan peningkatan nilai MLSS juga dapat terjadi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.29. Pada reaktor MA 3 dengan variasi konsentrasi minyak solar 381 ppm dan penambahan gula 7 gram menunjukkan nilai MLSS dan COD yang sama-sama memiliki

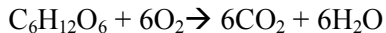
tren yang meningkat. Hal ini dapat terjadi karena adanya penambahan substrat dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri. Namun nilai COD yang meningkat dapat terjadi karena adanya lisis dari bakteri, selain itu juga karena eksudat yang dilepaskan oleh mikroorganisme (Iswara, 2011). Proses ini dapat terjadi sebagai respon terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim (Malinsky-Rushansky, 1996). Hal ini juga terjadi pada reaktor MA 4 dan MB 4 dengan variasi penambahan gula 10 gram. Grafik yang menunjukkan perbandingan nilai COD dan MLSS pada kedua reaktor tersebut dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.6.2 Korelasi antara Klorofil a dengan MLSS

Dalam sistem HRAP terjadi simbiosis antara alga dengan bakteri. Mikroalga di dalam sistem melakukan fotosintesis dengan adanya cahaya matahari. Reaksi fotosintesis oleh alga adalah sebagai berikut:

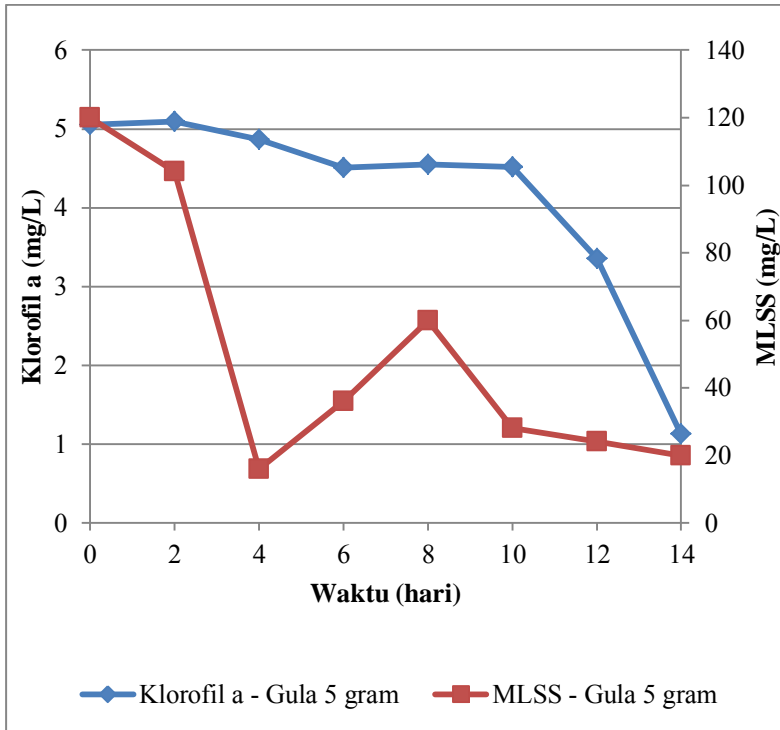


Melalui proses fotosintesis tersebut, mikroalga mengeluarkan oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk mendegradasi materi organik. Reaksi degradasi bahan organik oleh bakteri adalah sebagai berikut:



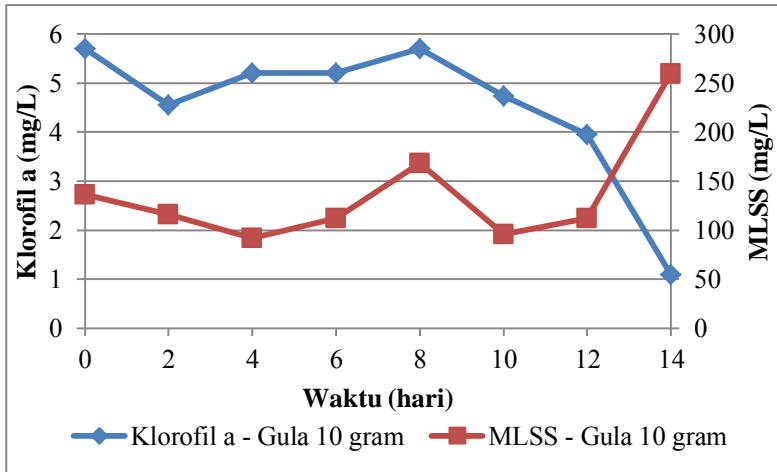
Melalui proses metabolisme, bakteri mengeluarkan karbondioksida. Karbondioksida ini akan bermanfaat bagi mikroalga sebagai bahan dasar fotosintesis (Istiyanie, 2011).

Pada Gambar 4.30 dapat dilihat nilai klorofil a dan MLSS pada reaktor MA 2 memiliki tren yang sama-sama menurun. Penurunan klorofil a dapat terjadi karena kurangnya nutrisi yang ada pada sistem. Penurunan nilai MLSS dapat terjadi karena bakteri tidak mendapatkan substrat yang cukup dalam sistem tersebut dan karena adanya pencemar minyak solar yang bersifat toksik yang dimasukkan ke dalam sistem. Hal ini terbukti dengan adanya penambahan substrat dalam jumlah kecil dan tanpa penambahan substrat, nilai MLSS mengalami penurunan.



**Gambar 4.30 Grafik Korelasi Klorofil a dengan MLSS  
Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm**

Sementara itu pada Gambar 4.31 dapat dilihat reaktor MA 4 dengan variasi penambahan gula 10 gram, nilai MLSS memiliki tren yang meningkat. Hal ini dapat terjadi karena walaupun ada pencemar yang ditambahkan ke dalam sistem, namun bakteri masih mendapatkan substrat yang cukup untuk pertumbuhannya. Sementara itu nilai klorofil a memiliki tren yang menurun dapat disebabkan karena kurangnya nutrisi yang ada dalam sistem, mengingat sistem berupa *batch* sehingga ketersediaan nutrisi terbatas.



**Gambar 4.31 Grafik Korelasi Klorofil a dengan MLSS  
Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm**

#### 4.6.3 Korelasi antara Klorofil a, MLSS, dan *Oil & Grease*

Persentase efisiensi penyisihan kandungan minyak dalam reaktor didapatkan dari hasil analisis *oil & grease* pada hari ke-0 dan ke-14 penelitian. Persentase penyisihan didapatkan dari selisih konsentrasi *oil & grease* di awal dan akhir penelitian. Bakteri di dalam reaktor diharapkan mengoksidasi bahan organik, termasuk minyak solar, di dalam reaktor sehingga dapat menurunkan kandungan minyak solar di dalam air limbah.

Pada reaktor dengan konsentrasi minyak solar sebesar 381 ppm didapatkan kisaran efisiensi antara 80,32% hingga 83,91%. Pada reaktor dengan penambahan gula 10 gram, nilai efisiensi mencapai 81,97% sementara tanpa penambahan gula efisiensi penyisihan minyak solar dapat mencapai 83,91%. Nilai klorofil a di dalam semua reaktor secara keseluruhan memiliki tren menurun dari awal hingga akhir penelitian. Sementara itu nilai MLSS menunjukkan tren yang juga menurun, kecuali pada reaktor dengan penambahan gula sebesar 10 gram dan 7 gram.

Pada reaktor dengan konsentrasi minyak solar sebesar 830 ppm, didapatkan kisaran efisiensi sebesar 82,28% hingga 84,27%. Efisiensi tertinggi adalah pada penambahan gula 10 gram, namun nilai klorofil a cenderung menurun sementara nilai MLSS memiliki tren meningkat.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *co-substrate* dapat meningkatkan nilai MLSS yang berarti meningkatkan jumlah bakteri di dalam reaktor. Proses penyisihan kandungan minyak solar yang terjadi tidak semata-mata dilakukan oleh bakteri, namun juga karena adanya proses adsorpsi oleh alga.

#### **4.7 Pengaruh Penambahan *Co-substrate* Terhadap Penurunan Kandungan Minyak Solar**

Pada penelitian ini dianalisis pengaruh penambahan *co-substrate* terhadap penurunan kandungan minyak solar. Pada penelitian ini digunakan dua variabel yaitu konsentrasi minyak solar dan gula sebagai *co-substrate*. Konsentrasi minyak solar yang ditambahkan adalah sebesar 381 ppm dan 830 ppm. Masing-masing konsentrasi minyak solar tersebut diberi penambahan gula sebanyak 0 gram, 5 gram, 7 gram, dan 10 gram.

Konsentrasi minyak solar dianalisis sebagai *oil & grease*. Selisih konsentrasi minyak solar di awal dan akhir running I yaitu pada hari ke-0 dan ke-14 kemudian dihitung sebagai efisiensi pengolahan. Pada hasil analisis diperoleh bahwa presentase penurunan kandungan minyak solar terbesar terjadi pada variasi konsentrasi minyak solar 830 ppm dan gula 10 gram. Hal ini didukung dengan hasil analisis parameter lain seperti klorofil a dan MLSS yang menunjukkan biomassa alga dan bakteri. Penambahan *co-substrate* dengan jumlah yang semakin besar dapat meningkatkan konsentrasi biomassa di dalam reaktor, walaupun nilai klorofil a dapat menurun seiring dengan berjalannya waktu, seperti dapat dilihat pada Gambar 4.31, reaktor MB4 dengan konsentrasi minyak solar 830 ppm dan penambahan gula sebanyak 10 gram.

Pada variasi konsentrasi minyak solar 830 ppm, penambahan *co-substrate* terlihat memberikan pengaruh pada efisiensi penurunan kandungan minyak solar. Semakin banyak penambahan *co-substrate*, semakin besar prosentase penyisihan kandungan minyak solar.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Efisiensi tertinggi kinerja HRAR dalam menurunkan konsentrasi minyak solar adalah sebesar 84,27%. Efisiensi tertinggi ini didapatkan pada reaktor dengan variasi konsentrasi minyak solar 830 ppm dan *co-substrate* sebesar 10 gram ke dalam 18 Liter yang memiliki nilai COD 586,67 mg/L.
2. Pada konsentrasi minyak solar sebanyak 830 ppm, penambahan *co-substrate* memberikan pengaruh dalam efisiensi penurunan kandungan minyak solar. Semakin besar penambahan *co-substrate*, semakin besar efisiensi penurunan kandungan minyak solar.

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan *range finding test* untuk mengetahui konsentrasi minyak solar optimum yang dapat ditambahkan ke dalam sistem HRAR.
2. Perlu dilakukan *range finding test* untuk mengetahui konsentrasi substrat yang perlu ditambahkan sebelum melakukan penelitian.
3. Untuk penelitian selanjutnya, perlu ditambahkan reaktor kontrol yang berisi bakteri tanpa alga untuk mengetahui banyaknya minyak solar yang dapat terdegradasi oleh bakteri.
4. Perlu dilakukan analisis *oil & grease* per hari untuk mengetahui tren penurunan kandungan minyak solar selama proses berlangsung.



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, A. S. (2013), *Efek Aerasi dan Konsentrasi Substrat pada Laju Pertumbuhan Alga Menggunakan Sistem Bioreaktor Proses Batch*, Tugas Akhir, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Aliyanta, B., Sumarlin, L. O., dan Mujab, A. S. (2011), “Penggunaan biokompos dalam bioremediasi lahan tercemar limbah minyak bumi”, *Jurnal Valensi*, 2 (3), hal. 430-442.
- Andersson, V., Broberg, S., dan Hackl, R. (2011), *Integrated Algae Cultivation for Biofuels Production in Industrial Clusters*, Program Energy System, Arbetsnotat Nr 47. ISSN 1403-8307.
- Anggraeni, F. (2007), *Penerapan Metode Fitoremediasi dengan Menggunakan Kayu Apu (Pistia stratiotes) pada Air yang Tercemar Minyak Pelumas Bekas Kendaraan*, Tugas Akhir, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- APHA. (1998), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup> edition*. Water Environment Federation.
- APHA. (2005), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21<sup>st</sup> edition*. Water Environment Federation.
- Astono, W. (2010), “Penetapan nilai konstanta dekomposisi organik (Kd) dan nilai konstanta reaserasi (Ka) pada Sungai Ciliwung hulu-hilir”, *Jurnal Ekosains*, Vol. 2, No. 1, hal. 40-45.
- Barsanti, L. dan Gualtieri, P. (2006), *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*, CRC Press – Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Budhi, Y. B., Setiadi, T., dan Harimurti, B. (1999), “Peningkatan biodegradabilitas limbah cair printing industri tekstil secara

- anaerob”, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo*, Institut Teknologi Bandung.
- Cilliers, A. (2012), *The Treatment of Brewery Effluent Using an Integrated High Rate Algal Ponding System*, Thesis, Fisheries Science, Rhodes University, Grahamstown.
- Darley, W. M. (1982), *Algae Biology: A Physiological Approach*, Blackwell Scientific Publications.
- Demirbas, A. (2010), “Use of algae as biofuel sources”, *Energy Conversion and Management*, 52 (1), hal. 163-170.
- Demirbas, A., dan Fatih Demirbas, M. (2011), “Importance of algae oil as a source of biodiesel”, *Energy Conversion and Management*, 52 (1), hal. 163-170.
- Devianto, L. A. dan Kardena, E. (2010), *Pengaruh Glukosa terhadap Produksi Biosurfaktan oleh Azotobacter vinelandii dan Pengaruh Biosurfaktan terhadap Biodegradasi TPH oleh Konsorsium Bakteri Petrofilik*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Bandung.
- Departemen Pendidikan Nasional. (2003), *Bahan Bakar, Kompetensi: Teknologi Bahan dan Teknik Pengukuran*.
- Effendi, H. (2003), *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Cetakan Kelima. Yogyakarta: Kanisius.
- Ekmekcioglu, E. (2012), “The macroeconomic effect of world crude oil price changes”, *International Journal of Business and Social Science*, 3 (6), hal. 268-272.
- Farid, R. (2011), *Sistem Pengolahan Limbah Lumpur Pengeboran Minyak Bumi di PT Chevron Pacific Indonesia Duri Tahun 2011*. Skripsi, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Graham, P. (2000), *Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal*, Water Environment Federation, USA.

- Hariyati, R. (2008), "Pertumbuhan dan biomassa *Spirulina sp* dalam skala laboratoris", *Jurnal BIOMA*, Vol. 10, No. 1, hal. 19-22.
- Herlina, N., dan Ginting, M. H. S. (2002), *Lemak dan Minyak*, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara.
- Ho, S. H., Chen, C. Y., Lee, D. J., dan Chang, J. S. (2011), "Perspective on microalgal CO<sub>2</sub>-emission mitigation system", *Biotechnology Advances*, 29 (1), hal. 189-198.
- Isnadina, D. R. (2013), *Pengaruh Konsentrasi Substrat, Salinitas, dan pH terhadap Laju Pertumbuhan Alga*, Laporan Thesis, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Istiyanie, D. (2011), *Pemanfaatan Emisi CO<sub>2</sub> dari PLTU Batubara dalam Pengolahan Limbah Cair Domestik Berbasis Mikroalga*, Laporan Thesis, Program Studi Kajian Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Iswara, A. P. (2011), *Pengaruh Aerasi dan Pencahayaann Alami pada Kemampuan High Rate Algae Reactor (HRAR) dalam Penurunan Bahan Organik Limbah Domestik Perkotaan*, Laporan Tugas Akhir, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kong, W. B., Yang, H., Cao, Y. T., Song, H., Hua, S. F., dan Xia, C. G. (2013), "Effect of glycerol and glucose on the enhancement of biomass, lipid, and soluble carbohydrate production by *Chlorella vulgaris* in mixotrophic culture", *Food Technology and Biotechnology*, 51 (1), hal. 62-69.
- Krishna, A. R., Dev, L., dan Thankamani, V. (2012), "An integrated process for industrial effluent treatment and biodiesel production using microalgae", *Research in Biotechnology*, 3 (1), hal. 47-60.
- Lundquist, T. J., Woertz, I. C., Quinn, N. W. T., dan Benemann, J. R. (2010), *A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel Production*, Energy

- Bioscience Institute, University of California, Berkeley, California.
- Mai, H. N. P. (2006), *Integrated Treatment of Tapioka Processing Industrial Wastewater: Based on Environmental Bio-Technology*, Ph.D Thesis, Wageningen University.
- Makmur, M., Kusnoputranto, H., Moersidik, S. S., dan Wisnubroto, D. S. (2012), "Pengaruh limbah organik dan rasio N/P terhadap kelimpahan fitoplankton di Kawasan Budidaya Kerang Hijau Cilincing", *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, Vol. 15, No. 2, hal. 51-64.
- Malinsky-Rushansky, N. Z. dan Legrand, C. (1996), "Excretion of dissolved organic carbon by phytoplankton of different sizes and subsequent bacterial uptake", *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 132, hal. 249-255.
- Mata, T. M., Martins, A. A., dan Caetano, N. S. (2010), "Microalgae for biodiesel production and other applications: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews 14*, hal. 217-232.
- Mesple, F., Casellas, C., Troussellier, M., dan Bontoux, J. (1995), "Some difficulties in modelling chlorophyll a evolution in a high rate alga pond ecosystem", *Ecological Modelling*, 78, hal.25-36.
- Mulyani, H. (2012), *Pengaruh Pre-Klorinasi dan Pengaturan pH terhadap Proses Aklimatisasi dan Penurunan COD Pengolahan Limbah Cair Tapioka*, Laporan Thesis, Magister Teknik Kimia, Universitas Diponegoro.
- Mulyanto, A. (2010), "Mikroalga (*Chlorella*, sp.) sebagai agensia penambat gas karbon dioksida", *Jurnal Hidrosfer Indonesia*, Vol. 5, No. 2, hal. 13-23. ISSN: 1907-1043.
- Olafadehan, O. A. dan Alabi, A. T. (2009), "Modelling and simulation of methanogenic phase of an anaerobic digester", *Journal of Engineering Research*, Vol. 13, No. 2, hal. 1-18.

- Pelczar Jr, M. J. dan Chan, E. C. S. (1986), *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Terjemahan Hadioetomo RS, Imas T, Tjitroromo SS dan Angka SL, UI Press, Jakarta.
- Perez-Garcia, O., Escalante, F. M. E., de-Bashan, L. E., dan Bashan, Y. (2011), "Heterotrophic cultures of microalgae: metabolism and potential products", *Water Research*, 45, hal. 11-36.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 2007 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak dan Gas Serta Panas Bumi.
- Pertamina. (2007), *Material Safety Data Sheet Solar*.
- Pokoo-Atkins, G., Nadim, A., El-Halwagi, M.M., dan Mahalec, V. (2010), "Design and analysis of biodiesel production from algae grown through carbon sequestration", *Clean Techn Environ Policy* 12, hal. 239-254.
- Posten, C. dan Schaub, G. (2009), "Microalgae and terrestrial biomass as source for fuels: a process view", *Journal of Biotechnology*, 142 (1), hal. 64-69.
- Redfield, A. C., Ketchum, B. M., dan Richards, F. A. (1963), *The Influence of Organism on the Composition of Seawater*, hal. 26-77, M. N. Hill [ed.], The sea, Wiley.
- Reynolds, T. D. dan Richards, P. A. (1996), *Unit Operations And Processes in Environmental Engineering*, PWS Publishing Company, New York, USA.
- Rao, P. H., Kumar, R. R., Raghavan, B. G., Subramanian, V. V., dan Sivasubramian, V. (2011), *Application of Phytoremediation Technology in the Treatment of Wastewater from a Leather-Processing Chemical Manufacturing Facility*. Departemen of Plant Biology and Plant Biotechnology, R. K. M. Vivekananda College, India.
- Santoso, A. D., Darmawan, R. A., dan Susanto, J. P. (2011), "Mikroalga untuk penyerapan emisi CO<sub>2</sub> dan pengolahan limbah cair di lokasi industri", *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 3 (2), hal. 62-70.

- Schenk, P. M., Thomas-Hall, S. R., Stephens, E., Marx, U. C., Mussgnug, J. H., Posten, C., Kruse, O., dan Hankamer, B. (2008), "Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production", *Bioenergy Research*, 1 (1), hal. 20-43.
- Setyawardhani, D. A., Distantina, S., Sulistyo, H., dan Rahayu, S. S. (2007), "Pemisahan asam lemak tak jenuh dalam minyak nabati dengan ekstraksi pelarut dan hidrolisa multistage", *Ekuilibrium*, 6 (2), hal. 59-64.
- Srimariana, E. S. (2000), *Pengaruh Faktor Fisikokimia Terhadap Pembentukan Pigmen Oleh Bakteri Laut Mesophilobacter Sp.* Laporan Thesis, Institut Pertanian Bogor.
- Sugiyono, A. (2006), *Peluang Pemanfaatan Biodiesel dari Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Solar di Indonesia*, dalam Suharyono, H. dan Nurrohim, A., Editor, *Prospek Pengembangan Bio-Fuel Sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak*, hal. 29-40, ISBN 979-95999-6-2, PTPSE-BPPT, Jakarta.
- Suligundi, B. P. (2013), "Penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada limbah cair karet dengan menggunakan reaktor biosand filter yang dilanjutkan dengan reaktor *Activated Carbon*", *Jurnal Teknik Sipil Untan*, Vol. 13, No. 1, hal. 29-44.
- Sunarto.(2008), *Penyediaan Energi Karbon dalam Simbiosis Coral-Alga*, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran.
- Supradata. (2005), *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus alternifolius, L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands)*, Laporan Thesis, Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang.
- Tjitrosoepomo, G. (2003), *Taksonomi Tumbuhan (Schizophyta, Thallophyta, Bryophyta, Pteridophyta)*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- Utami, F. I. S. (2013), *Efek Aerasi dan Konsentrasi Substrat pada Laju Pertumbuhan Alga Menggunakan Sistem Bioreaktor Proses Batch*, Tugas Akhir, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Walker, D. A. (2009), "Biofuels, facts, fantasy, and feasibility", *Journal Applied Phycology*, 21 (5), hal. 509-517.
- Wang, L., Min, M., Li, Y., Chen, P., Chen, Y., Liu, Y., Wang, Y., dan Ruan, R. (2009), "Cultivation of green algae *Chlorella* sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant", *Appl Biochemistry and Biotechnology*, 162 (4), hal. 1174-1186.



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **LAMPIRAN**

### **PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM**

#### **Prosedur Analisis Dissolved Oxygen (DO)**

##### **A. Alat dan Bahan**

1. Larutan Mangan Sulfat ( $\text{MnSO}_4$ )
2. Larutan Alkali-Iodida-Azida atau Larutan Pereaksi Oksigen
3. Indikator Amilum 0,5%
4. Larutan Natrium Thiosulfat 0,0125 N
5. Larutan Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) pekat
6. Botol winkler 1 buah
7. Buret 25 mL atau 50 mL
8. Pipet 10mL, 5 mL
9. Gelas ukur 100 mL 1 buah
10. Erlenmeyer 250 mL 1 buah

##### **B. Prosedur Analisis**

1. Diambil sampel langsung dari dalam reaktor ke dalam botol YouC 1000 yang sudah disterilisasi. Botol tersebut dimasukkan ke dalam air hingga botol penuh kemudian ditutup.
2. Ditambahkan 1 mL larutan Mangan Sulfat.
3. Ditambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen.
4. Ditutup botol dengan hati-hati agar tidak ada udara yang masuk ke dalam botol. Kemudian dibolak-balikkan beberapa kali hingga larutan tercampur.
5. Dibiarkan gumpalan mengendap dalam waktu 10-15 menit.
6. Ditambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan botol beberapa kali hingga endapan menghilang.
7. Diambil air dari dalam botol sebanyak 100 mL dengan menggunakan gelas ukur dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL.

8. Dititrasikan dengan menggunakan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N hingga warna menjadi cokelat muda.
9. Ditambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan dititrasikan kembali dengan menggunakan Natrium Tiosulfat sampai warna biru menghilang pertama kali.
10. Hitung oksigen terlarut dengan menggunakan rumus berikut:

$$OT(mg\ O_2/L) = \frac{a \times n \times 8000}{100\ mL}$$

dimana:

OT               = oksigen terlarut  
 a                = volume titrasi Natrium Tiosulfat  
 N                = normalitas Natrium Tiosulfat

## **Prosedur Analisis Klorofil A**

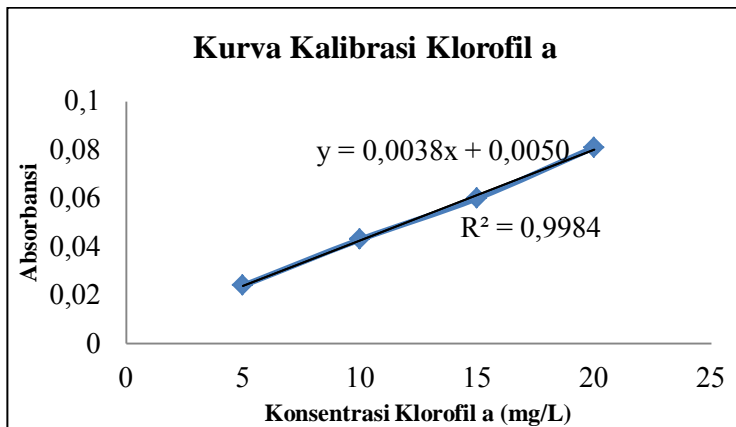
### **A. Alat dan Bahan**

1. Labu centrifuge
2. Alat centrifuge
3. Pipet Volumetrik
4. Gelas Ukur 25 mL
5. Spektrofotometer
6. Sampel sebanyak 50 mL
7. Larutan aseton 2 mL
8. Aquades 10 mL

### **B. Prosedur Analisis**

1. Sampel diambil sebanyak 50 mL dengan labu centrifuge yang tertutup.
2. Sampel dicentrifuge dengan kecepatan 3000 rpm selama 30 menit.
3. Endapan hijau yang terbentuk diambil menggunakan pipet ukur.
4. Endapan hijau dimasukkan ke dalam gelas ukur 25 mL.
5. Ditambahkan larutan aseton sebanyak 2 mL kemudian digoyang-goyangkan.

6. Ditambahkan aquades hingga 10 mL kemudian dimasukkan ke dalam labu centrifuge.
7. Larutan dicentrifuge dengan kecepatan 500 rpm selama 20 menit.
8. Kemudian dilakukan pembacaan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 645 nm.
9. Hasil absorbansi diplotkan ke dalam kurva kalibrasi klorofil a berikut ini.



10. Nilai klorofil a dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{klorofil a } (\text{mg/L}) = x \times \frac{\text{Volume aseton}}{\text{Volume sampel}}$$

dimana:  $x$  = nilai dari persamaan kalibrasi

### **Prosedur Analisis Chemical Oxygen Demand (COD)**

#### **A. Alat dan Bahan**

1. Erlenmeyer 2 buah
2. Pemanas
3. Kristal  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$
4. Aquades 170 mL
5. Kalium dikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 10 mL

6. Larutan campuran asam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$
7. Indikator ferroin 3 tetes
8. Larutan FAS 0,05 N

## B. Prosedur Analisis

1. Disiapkan 2 buah tabung COD, lalu 0,4 gr kristal  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  dimasukkan kedalam masing-masing erlenmeyer COD.
2. 2,5 mL sampel yang telah disaring dan 2,5 mL air aquadest sebagai blanko dituangkan kedalam masing-masing erlenmeyer COD.
3. Ditambahkan larutan kalium dikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) sebanyak 2,5 mL.
4. Larutan campuran asam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ditambahkan sebanyak 1 mL.
5. Tabung COD kemudian ditutup rapat dan ditunggu hingga dingin.
6. Alat pemanas dinyalakan dan diletakkan tabung COD di atas alat pemanas selama 2 jam.
7. Setelah 2 jam, alat pemanas dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
8. Isi tabung COD kemudian dituangkan ke erlenmeyer, kemudian dilakukan pembilasan dengan aquades sampai tidak ada kristal yang tertinggal di tabung COD.
9. Indikator ferroin ditambahkan sebanyak 3 tetes.
10. Kedua erlenmeyer dititrasi menggunakan larutan standar FAS 0,05 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat yang tidak hilang selama 1 menit.
11. Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol sampel}} \times P$$

dimana: A = mL FAS titrasi blanko  
 B = mL FAS titrasi sampel  
 N = normalitas larutan FAS  
 P = pengenceran

## **Prosedur Analisis MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*)**

### **A. Alat dan Bahan**

1. Cawan porselin
2. Oven
3. Kertas saring
4. Desikator
5. Neraca analitis
6. Vacum filter

### **B. Prosedur Analisis**

1. Cawan porselin dibakar dengan suhu 550°C selama 1 jam, setelah itu dimasukkan ke oven selama 105°C selama 15 jam.
2. Kertas saring dimasukkan ke oven 105°C selama 1 jam.
3. Cawan dan kertas saring kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
4. Kertas saring ditimbang dengan timbangan analitis (e mg)
5. Kertas saring yang telah ditimbang diletakkan pada vacum filter.
6. 25 ml sampel dituangkan diatas filter yang telah dipasang pada vacum filter, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekataannya, lalu dicatat volume sampel (g ml)
7. Sampel disaring sampai kering atau airnya habis.
8. Kertas saring diletakkan pada cawan petri dan dimasukkan ke oven 105°C selama 1 jam.
9. Didinginkan di dalam desikator selama 15 menit.
10. Ditimbang dengan timbangan analitis (f mg).
11. Jumlah MLSS dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{MLSS (mg/L)} = \frac{(f-e)}{g} \times 1000 \times 1000$$

dimana: e = cawan kosong setelah difurnace 550°C dan oven 105°C

f = cawan dan residu setelah dioven 105°C

g = volume sampel

## **Prosedur Analisis Oil & grease**

### **A. Alat dan Bahan**

1. Peralatan ekstraksi, yaitu labu soxhlet, labu destilasi, dan kondensor
2. Corong pemisah 1000 mL
3. Propipet
4. Kompor listrik
5. Corong plastik
6. Kertas saring
7. Oven
8. Desikator
9. Neraca analitis
10. Penjepit besi
11. HCl
12. Dichloromethane sebagai pelarut organik

### **B. Prosedur Analisis**

1. Ketika sampel dibawa ke laboratorium, tandai botol sampel pada meniscus air untuk menandai volume sampel yang digunakan.
2. Jika sampel belum diasamkan sebelumnya, asamkan dengan perbandingan HCl 1:1 atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1 menuju pH 2 atau lebih rendah (umumnya, 5 mL cukup untuk 1 L sampel).
3. Panaskan labu destilasi kosong pada suhu 105°C selama 1 jam. Usai dipanaskan dalam oven, pindahkan labu destilasi dari oven dengan penjepit besi ke dalam desikator selama 15 menit. Ambil labu destilasi kosong tersebut dari dalam desikator dan timbang massanya (a gram).
4. Masukkan sampel ke dalam botol centrifuge dan masukkan ke dalam centrifuge selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm.
5. Masukkan supernatant air limbah buatan hasil centrifuge ke dalam corong pemisah dengan volume kira-kira

setengah dari volume corong pemisah. Campur air limbah buatan hasil saringan dengan Dichlorometane secukupnya di dalam corong pemisah ( $\pm 20$  mL). Kocok hingga terbentuk dua lapisan secara jelas di dalam corong pemisah. Lapisan atas merupakan air biasa. Lapisan atas merupakan lapisan minyak yang terikat dengan pelarut organik. Ambil lapisan minyak dan pelarut dari corong pemisah dengan memutar katup corong pemisah. Pengocokan dilakukan dua kali lagi dengan volume DCM masing-masing 10 mL.

6. Ambil kertas saring. Masukkan kertas saring ke dalam dasar labu soxhlet.
7. Nyalakan kompor listrik. Isi labu soxhlet berisi kertas saring tersebut dengan pelarut organik hingga melebihi lubang selang kapiler menuju labu destilasi ( $\pm 1$  cm di atas selang kapiler). Pastikan terjadi aliran dalam selang kapiler. Ekstrak minyak dalam peralatan ekstraksi sampai dalam labu soxhlet muncul asap.
8. Labu soxhlet berisi minyak dimasukkan ke dalam oven  $105^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit agar terpisahkan dari pelarut organik.
9. Letakkan labu soxhlet di dalam desikator selama 15 menit. Timbang massa labu ekstraksi (b gram).
10. Perhitungan :

$$\text{mg minyak/L} = \frac{(b - a) \text{ mg}}{\text{L sampel}}$$

Dimana :

b = mg labu soxhlet berisi minyak hasil ekstraksi

a = mg labu soxhlet kosong

## **Prosedur Analisis Orthophosphat**

### **A. Alat dan Bahan**

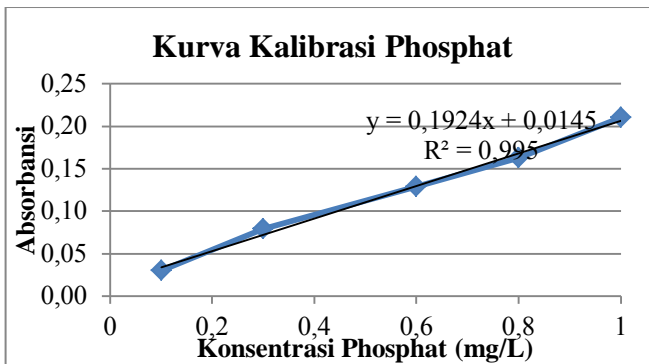
1. Spektrofotometer
2. Pipet ukur
3. Beaker glass



4. Propipet
5. Aquades
6. Larutan Ammonium Molybdate
7. Larutan Klorid Timah

### B. Prosedur Analisis

1. Ambil sampel yang telah disaring dan aquades masing-masing sebanyak 25 mL.
2. Tambahkan 1 mL larutan ammonium molibdate ke dalam sampel.
3. Tambahkan 1 tetes larutan  $\text{SnCl}_2$ .
4. Diamkan sampel selama kurang lebih 10 menit hingga terbentuk warna biru.
5. Baca dengan spektrofotometer gelombang 650 nm dengan menggunakan blanko berupa aquades dengan perlakuan sama.
6. Hasil pembacaan absorbansi diplotkan ke dalam kurva kalibrasi berikut ini.



### Prosedur Analisis Total N

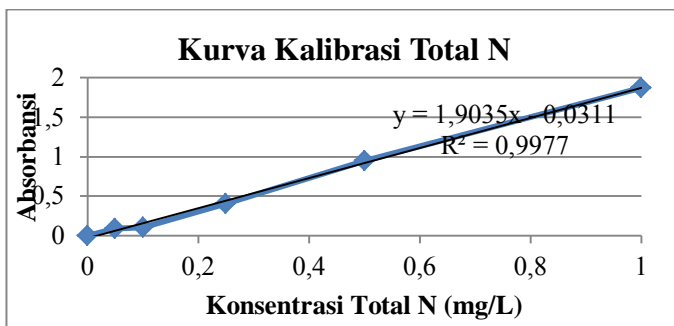
#### A. Alat dan Bahan

1. Spektrofotometer
2. Pipet ukur

3. Beaker glass
4. Propipet
5. Kompor listrik
6. Penjepit besi
7. Spatula kaca
8. Aquades
9. Larutan Digest N
10. Larutan Garam Signette
11. Larutan Nessler

## B. Prosedur Analisis

1. Ambil sampel sebanyak 25mL ke dalam beaker glass.
2. Tambahkan 2 mL larutan Digest N dan biarkan semalam.
3. Panaskan sampel menggunakan kompor listrik hingga terbentuk karamel kecoklatan.
4. Tambahkan aquades hingga kembali ke volume semula (25 mL).
5. Tambahkan masing-masing 1 mL larutan garam signette dan pereaksi nessler ke dalam sampel.
6. Baca dengan spektrofotometer panjang gelombang 410 nm dengan menggunakan blanko berupa aquades dengan perlakuan sama seperti sampel.
7. Hasil pembacaan absorbansi diplotkan ke dalam kurva kalibrasi di bawah ini.



## HASIL ANALISIS PENELITIAN PENDAHULUAN

### Hasil Analisis Suhu (°C)

Waktu (hari)	Konsentrasi Solar				
	0 mL	381 ppm	830 ppm	1280 ppm	1730 ppm
0	33	34	35	35	35
2	31	31	32	33	33
4	30	30	31	32	32
6	30	30	31	31	31
8	30	31	31	31	31

### Hasil Analisis pH

Waktu (hari)	Konsentrasi Solar				
	0 mL	381 ppm	830 ppm	1280 ppm	1730 ppm
0	8,31	8,14	8,09	7,92	7,97
2	7,78	7,64	7,59	7,55	7,58
4	7,77	7,91	7,79	7,88	7,97
6	8,07	8,20	8,16	8,10	8,13
8	8,14	8,02	8,00	8,12	7,90

**Hasil Analisis Klorofil a (mg/L)**

<b>Waktu (hari)</b>	<b>Konsentrasi Solar</b>				
	<b>0 mL</b>	<b>381 ppm</b>	<b>830 ppm</b>	<b>1280 ppm</b>	<b>1730 ppm</b>
0	7,33	8,32	5,35	8,04	9,15
2	2,25	1,27	1,80	2,00	1,22
4	0,89	0,39	0,29	0,28	0,34
6	1,04	0,38	0,31	0,28	0,33
8	1,65	0,91	0,31	0,27	0,32

**Hasil Analisis MLSS (mg/L)**

<b>Waktu (hari)</b>	<b>Konsentrasi Solar</b>				
	<b>0 mL</b>	<b>381 ppm</b>	<b>830 ppm</b>	<b>1280 ppm</b>	<b>1730 ppm</b>
0	104	84	168	192	212
2	112	104	188	232	252
4	172	176	156	196	156
6	60	24	108	44	8
8	28	8	36	8	8

## HASIL ANALISIS PENELITIAN UTAMA

### Hasil Analisis Suhu (°C)

Waktu (hari)	REAKTOR							
	MA 1	MA 2	MA 3	MA 4	MB 1	MB 2	MB 3	MB 4
0	34,0	34,0	35,0	36,0	37,0	37,0	35,0	35,5
2	31,0	31,0	31,5	32,0	32,5	32,0	32,0	32,0
4	29,0	28,5	29,0	29,5	29,5	30,0	29,0	29,5
6	31,5	31,0	31,5	32,0	32,5	33,0	31,5	31,0
8	31,0	31,0	31,0	32,0	33,0	33,0	31,5	31,5
10	29,5	29,0	29,5	29,5	30,0	30,0	29,5	29,0
12	29,0	29,0	29,0	29,5	29,5	29,5	29,5	29,0
14	29,0	29,0	29,5	29,5	30,0	30,0	29,5	29,5

## Hasil Analisis pH

Waktu (hari)	REAKTOR							
	MA 1	MA 2	MA 3	MA 4	MB 1	MB 2	MB 3	MB 4
0	8,88	8,77	8,83	8,80	8,76	8,79	8,72	8,85
2	8,43	8,25	8,19	8,08	8,31	8,13	8,16	8,03
4	8,15	7,90	7,69	7,55	8,13	7,73	7,73	7,68
6	8,00	7,94	7,78	7,56	8,02	7,76	7,86	7,69
8	7,87	7,79	7,61	7,36	7,78	7,51	7,66	7,49
10	7,73	7,64	7,74	7,38	7,77	7,70	7,51	7,50
12	7,76	7,50	7,96	7,76	7,87	7,92	7,64	7,63
14	7,25	7,79	8,11	7,64	7,69	7,97	7,71	7,65
17	7,37	8,59	9,06	7,98	8,18	8,82	7,86	8,28
20	8,36	9,01	9,02	9,74	9,05	8,45	8,21	8,96
23	9,23	8,67	9,12	9,52	9,55	9,39	9,27	8,42
26	9,08	9,01	8,56	8,85	9,27	9,21	9,12	8,61
29	8,41	8,47	8,33	8,47	8,29	8,43	8,38	8,12

### Hasil Analisis DO (mg/L)

Waktu (hari)	REAKTOR															
	MA 1		MA 2		MA 3		MA 4		MB 1		MB 2		MB 3		MB 4	
	Pagi	Sore	Pagi	Sore	Pagi	Sore	Pagi	Sore	Pagi	Sore	Pagi	Sore	Pagi	Sore	Pagi	Sore
0	7,70	5,10	7,90	4,80	7,00	4,70	7,40	4,25	7,60	4,10	7,80	4,20	7,10	5,00	6,50	4,50
2	4,70	5,50	4,30	4,60	3,90	4,60	3,60	4,00	5,00	4,50	4,10	3,90	4,70	3,70	2,60	4,10
4	5,50	4,70	4,60	3,70	3,80	3,50	2,20	1,90	5,60	3,80	3,80	0,00	4,20	3,10	3,30	2,40
6	5,40	5,90	5,50	4,70	4,50	3,80	2,20	1,00	5,80	5,80	3,30	2,50	4,50	3,60	3,50	2,00
8	5,80	6,50	5,50	5,30	4,80	3,80	0,80	1,70	5,30	4,90	3,30	3,20	4,50	4,20	2,50	3,10
10	11,80	7,10	5,50	5,10	5,10	5,50	2,00	2,00	6,00	4,90	5,40	4,20	4,20	3,65	3,40	2,80
12	6,00	7,80	6,50	5,30	5,60	5,50	4,50	3,90	6,10	5,60	5,50	5,60	5,40	4,20	4,70	3,85
14	4,80	5,10	7,30	6,60	7,40	8,30	3,60	2,15	5,80	5,60	6,20	7,15	6,70	5,15	4,70	4,40

### Hasil Analisis MLSS (mg/L)

Waktu (hari)	REAKTOR							
	MA 1	MA 2	MA 3	MA 4	MB 1	MB 2	MB 3	MB 4
0	36	120	84	136	56	244	116	56
2	16	104	28	116	84	116	84	32
4	32	16	84	92	96	100	152	140
6	52	36	32	112	80	84	56	60
8	64	60	88	168	176	152	128	172
10	32	28	116	96	80	52	136	224
12	12	24	92	112	36	72	96	60
14	30	20	50	260	70	50	80	230



### Hasil Analisis COD (mg/L)

Waktu (hari)	REAKTOR							
	MA 1	MA 2	MA 3	MA 4	MB 1	MB 2	MB 3	MB 4
0	106,67	337,78	444,44	711,11	53,33	337,78	462,22	586,67
2	80,00	320,00	480,00	560,00	160,00	320,00	520,00	640,00
4	514,29	1714,29	1028,57	1285,71	685,71	685,71	857,14	1200,00
6	654,55	945,45	654,55	727,27	363,64	581,82	690,91	727,27
8	950,94	2264,15	1267,92	2490,57	1086,79	1222,64	633,96	1449,06
10	355,56	444,44	266,67	1600,00	400,00	311,11	1200,00	711,11
12	128,57	300,00	214,29	514,29	814,29	471,43	1071,43	771,43
14	1440,00	1520,00	1920,00	600,00	640,00	2560,00	1920,00	1520,00
17	85,7	942,9	1157,1	514,3	900,0	2057,1	1928,6	428,6
20	1409,5	1523,8	761,9	1066,7	2742,9	1409,5	533,3	533,3
23	2289,2	2436,9	2436,9	2289,2	2510,8	2732,3	2510,8	2806,2
26	2732,3	3101,5	4172,3	2916,9	2953,8	3396,9	2363,1	2990,8
29	2806,2	2916,9	2953,8	2880,0	2732,3	2880,0	2843,1	2695,4

### Hasil Analisis Klorofil a (mg/L)

Waktu (hari)	REAKTOR							
	MA 1	MA 2	MA 3	MA 4	MB 1	MB 2	MB 3	MB 4
0	4,24	5,05	4,41	5,71	6,02	5,77	5,04	4,58
2	4,43	5,09	6,76	4,56	5,35	5,67	4,05	5,36
4	4,71	4,86	5,60	5,21	4,78	6,25	4,48	5,56
6	5,20	4,51	5,46	5,21	3,95	5,18	4,33	3,86
8	4,84	4,55	5,36	5,71	4,00	4,86	4,91	6,36
10	5,15	4,52	4,09	4,74	3,15	3,34	4,15	4,62
12	6,82	3,36	2,33	3,96	2,47	3,28	2,84	3,94
14	0,88	1,13	0,73	1,09	0,69	2,48	1,42	0,96
17	0,19	9,32	10,58	5,61	5,64	12,24	8,55	10,76
20	0,25	9,19	11,61	12,34	4,74	2,88	0,29	13,75
23	0,18	0,13	3,08	13,01	4,43	0,16	0,14	5,33
26	0,03	0,40	1,04	0,75	0,07	0,03	0,01	0,01
29	0,58	1,23	1,64	1,95	0,27	0,14	1,02	0,20

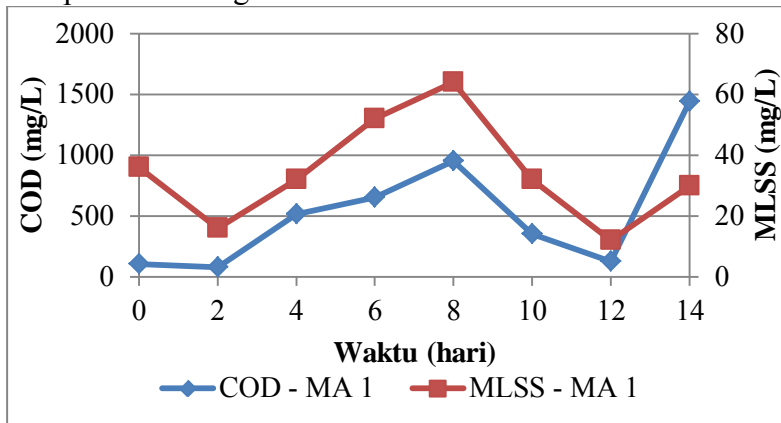
### Hasil Analisis *Oil & Grease* (mg/L)

No	Reaktor	Hari ke-0			Hari ke-14			Efisiensi (%)
		Selisih Berat (g)	Volume (mL)	Konsentrasi (mg/L)	Selisih Berat (g)	Volume (mL)	Konsentrasi (mg/L)	
1	MA1	0,0727	200	363,50	0,0117	200	58,50	83,91
2	MA2	0,0625	200	312,50	0,0123	200	61,50	80,32
3	MA3	0,0652	200	326,00	0,0123	200	61,50	81,13
4	MA4	0,0671	200	335,50	0,0121	200	60,50	81,97
5	MB1	0,1442	200	721,00	0,0257	200	128,50	82,18
6	MB2	0,1555	200	777,50	0,0269	200	134,50	82,70
7	MB3	0,1619	200	809,50	0,0264	200	132,00	83,69
8	MB4	0,1449	200	724,50	0,0228	200	114,00	84,27

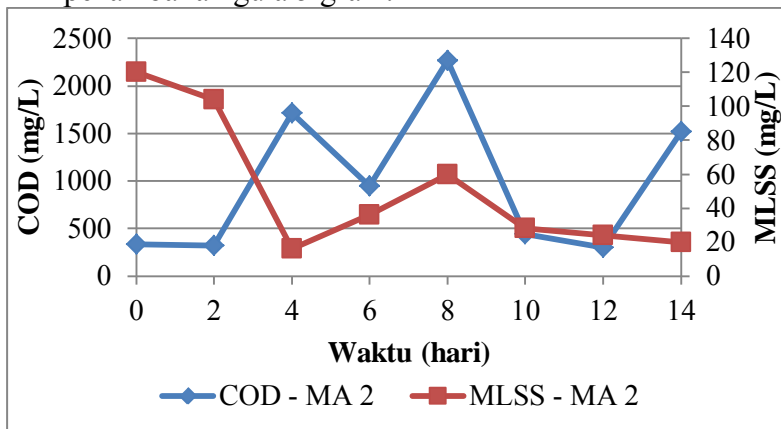
## GRAFIK KORELASI ANTAR PARAMETER

### Grafik Korelasi COD dengan MLSS

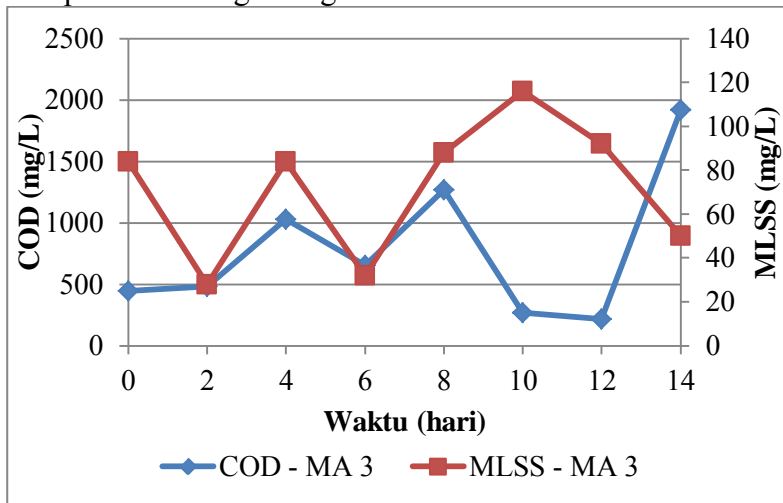
1. Reaktor MA 1, konsentrasi minyak solar 381 ppm tanpa penambahan gula.



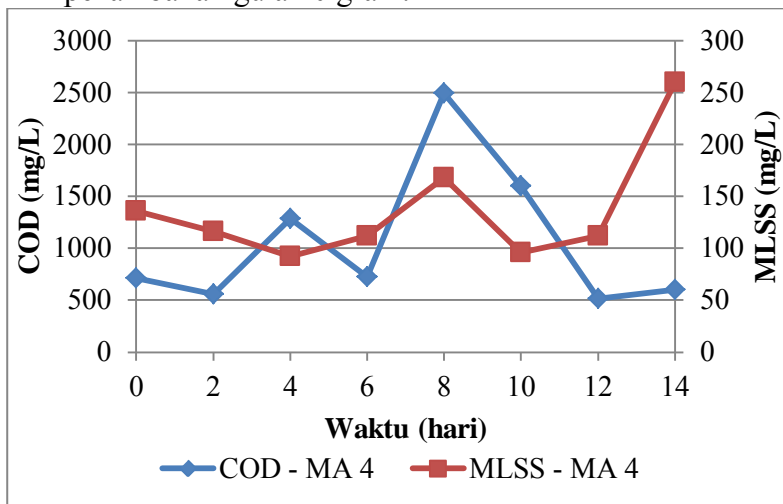
2. Reaktor MA 2, konsentrasi minyak solar 381 ppm dan penambahan gula 5 gram.



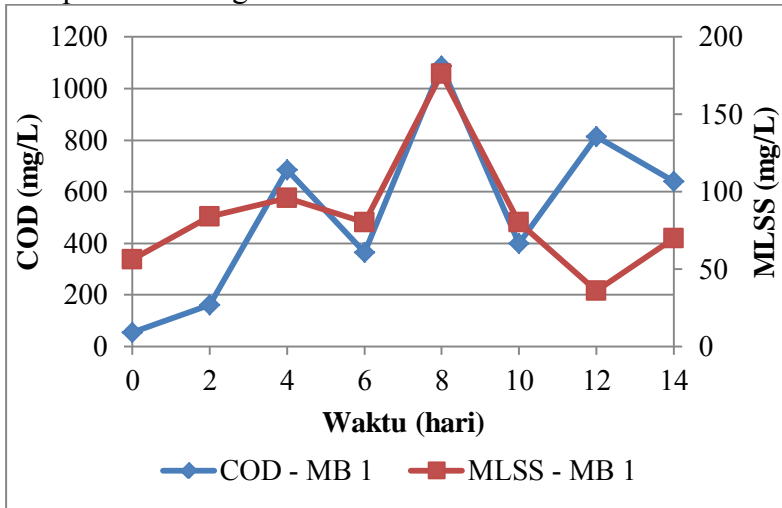
3. Reaktor MA 3, konsentrasi minyak solar 381 ppm dan penambahan gula 7 gram.



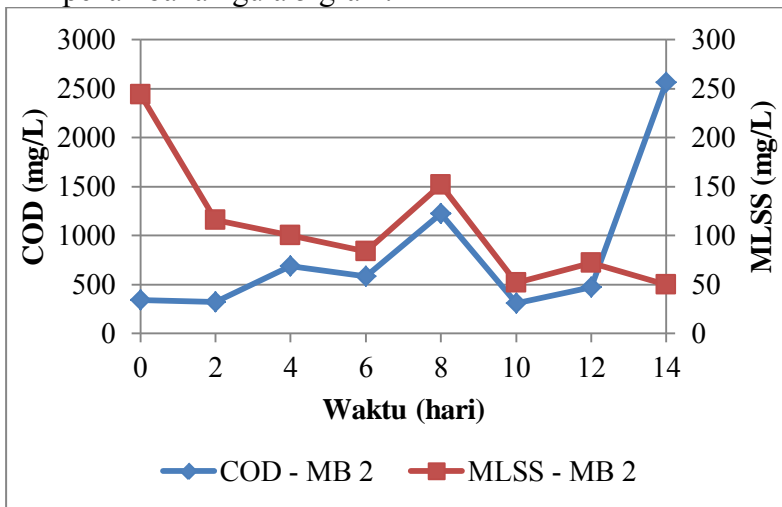
4. Reaktor MA 4, konsentrasi minyak solar 381 ppm dan penambahan gula 10 gram.



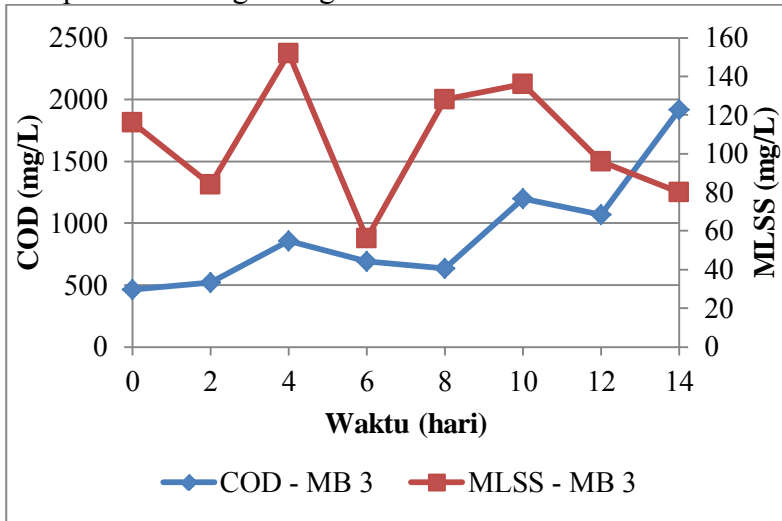
5. Reaktor MB 1, konsentrasi minyak solar 830 ppm tanpa penambahan gula.



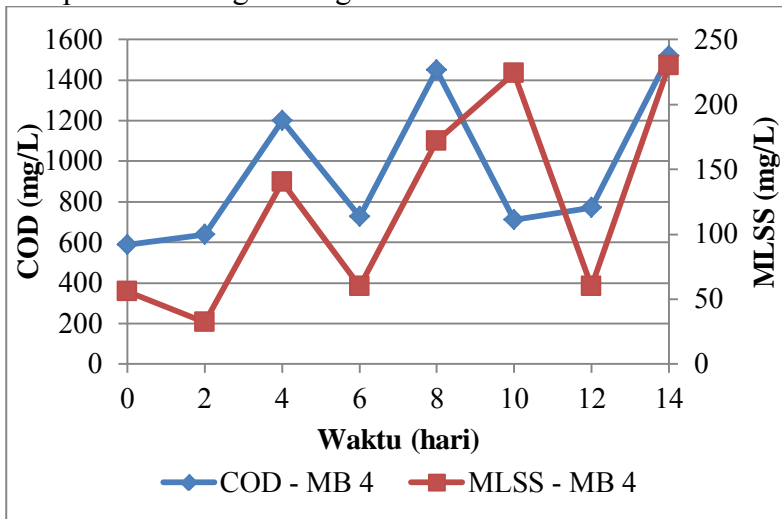
6. Reaktor MB 2, konsentrasi minyak solar 830 ppm dan penambahan gula 5 gram.



7. Reaktor MB 2, konsentrasi minyak solar 830 ppm dan penambahan gula 7 gram.

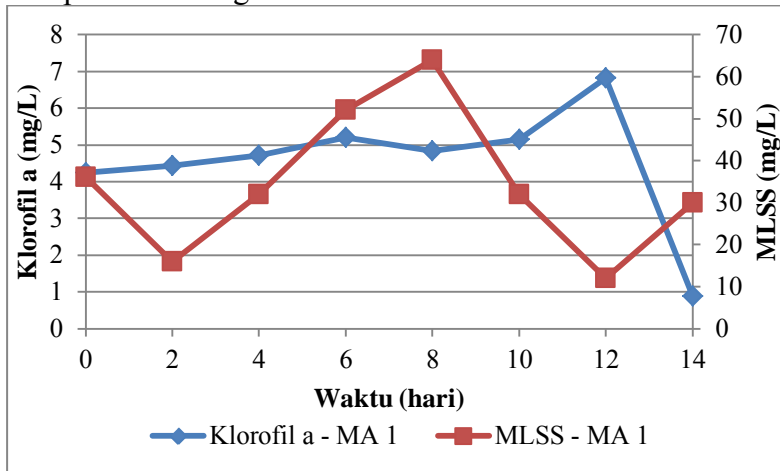


8. Reaktor MB 2, konsentrasi minyak solar 830 ppm dan penambahan gula 10 gram.

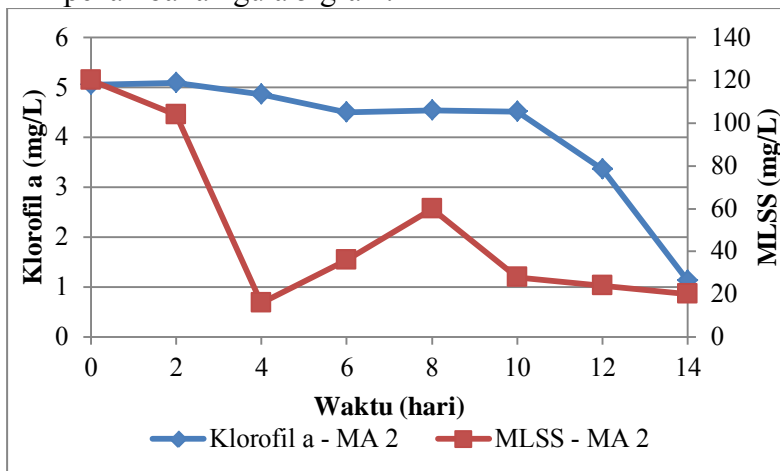


### Grafik Korelasi Klorofil a dengan MLSS

1. Reaktor MA 1, konsentrasi minyak solar 381 ppm tanpa penambahan gula.

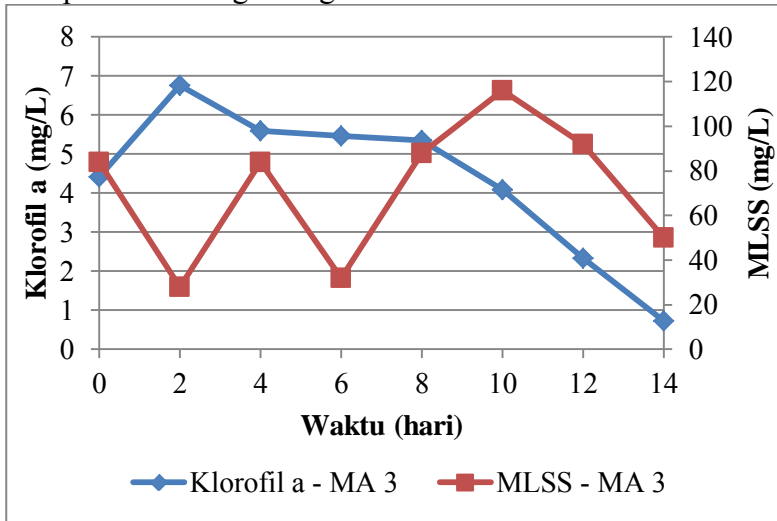


2. Reaktor MA 2, konsentrasi minyak solar 381 ppm dan penambahan gula 5 gram.

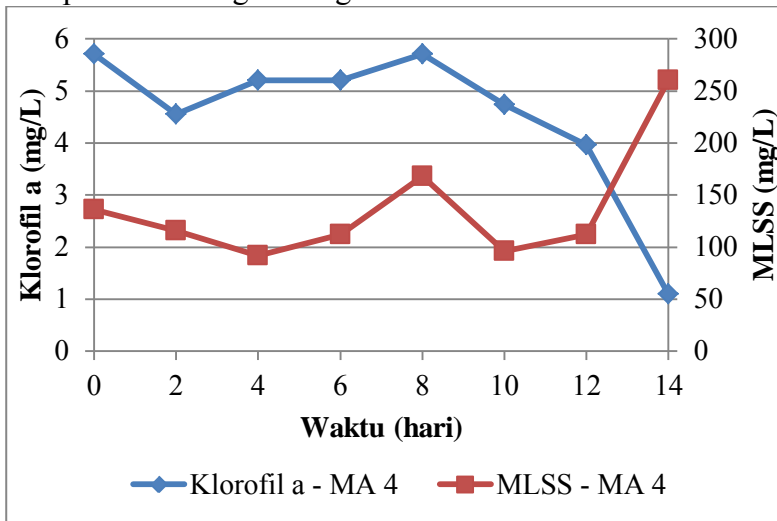




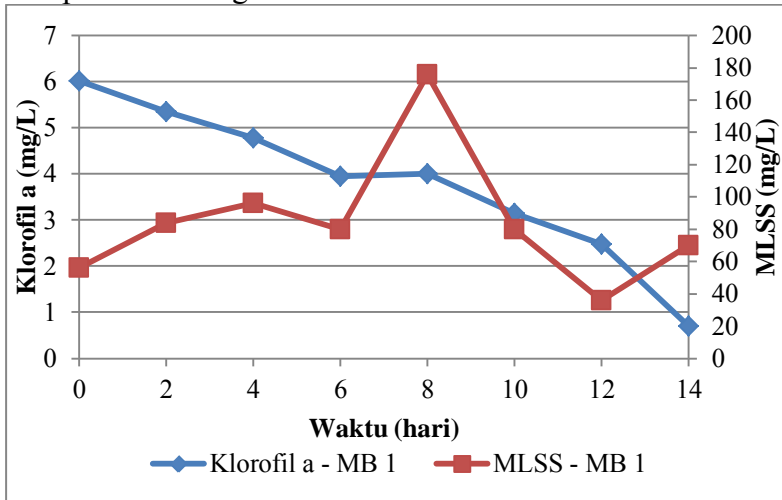
3. Reaktor MA 3, konsentrasi minyak solar 381 ppm dan penambahan gula 7 gram.



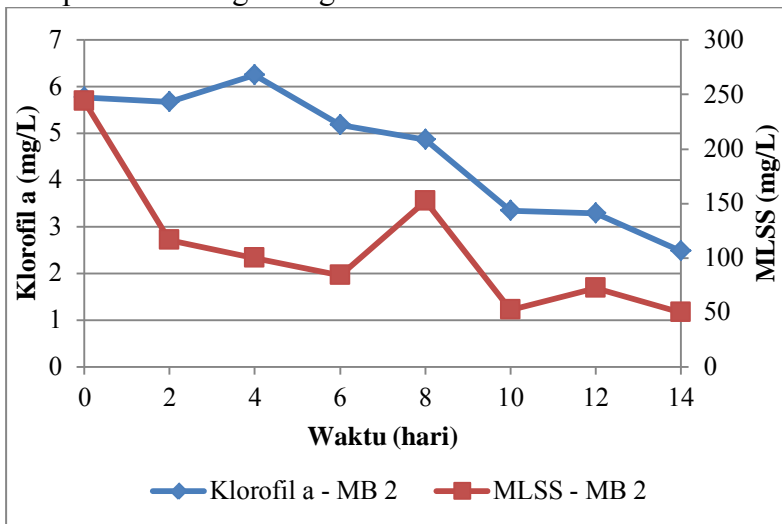
4. Reaktor MA 4, konsentrasi minyak solar 381 ppm dan penambahan gula 10 gram.



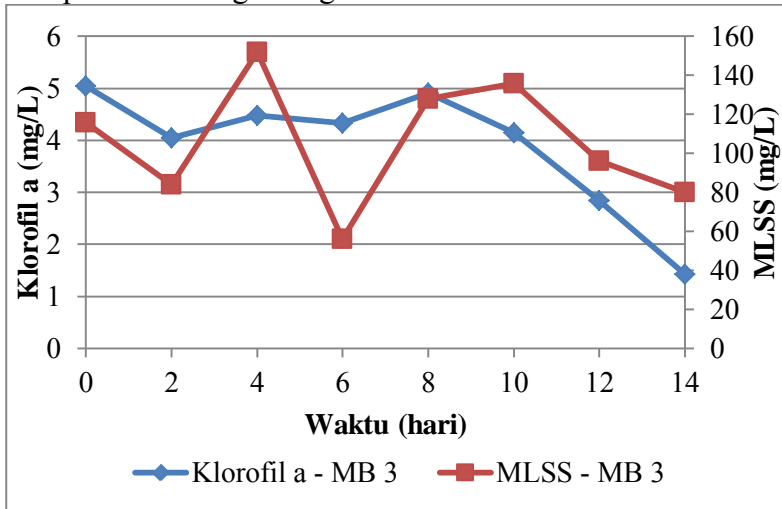
5. Reaktor MB 1, konsentrasi minyak solar 830 ppm tanpa penambahan gula.



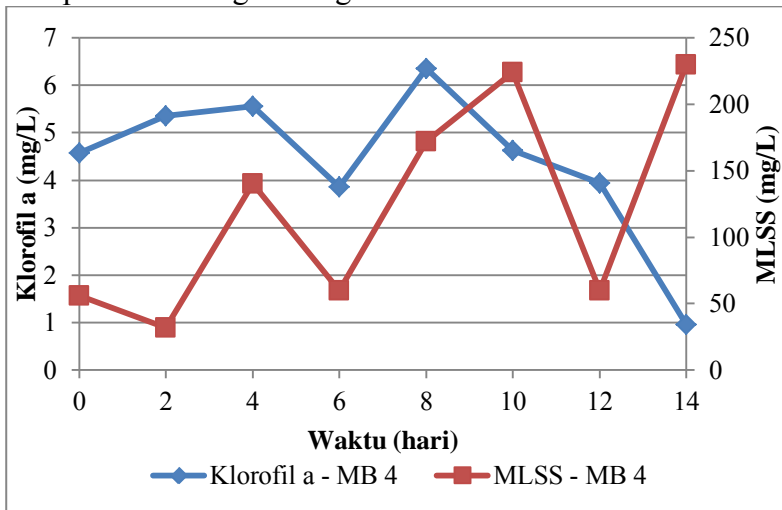
6. Reaktor MB 2, konsentrasi minyak solar 830 ppm dan penambahan gula 5 gram.



7. Reaktor MB 2, konsentrasi minyak solar 830 ppm dan penambahan gula 7 gram.



8. Reaktor MB 2, konsentrasi minyak solar 830 ppm dan penambahan gula 10 gram.



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Laksmisari Rakhma Putri. Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 3 September 1992. Penulis merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara. Penulis memulai pendidikan formal di SD Negeri Pucang I Sidoarjo pada tahun 1999. Pada tahun 2005, penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sekolah dasar dan melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 1 Sidoarjo. Pada tahun

2008, penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke SMA Negeri 1 Sidoarjo dan mengikuti program akselerasi. Pada tahun 2010, penulis diterima di Jurusan Teknik Lingkungan ITS melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama berkuliah di ITS, penulis aktif dalam berbagai pelatihan serta program kerja jurusan maupun institut. Penulis juga pernah bergabung sebagai staff Departemen Pengabdian Masyarakat HMTL ITS pada tahun 2011/2012. Pada tahun 2012/2013 penulis menjabat sebagai Sekretaris Departemen Sosial Masyarakat. Pada tahun 2013, penulis pernah menjadi mahasiswa magang di PT. ECCO Tannery Indonesia selama 1 bulan penuh. Penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun sebagai perbaikan bagi diri penulis dan laporan tugas akhir ini. Penulis dapat dihubungi di [laksmisarirputri@yahoo.com](mailto:laksmisarirputri@yahoo.com).